

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Patentschrift
10 DE 198 47 740 C 1

51 Int. Cl. 7:
B 29 C 45/42
B 29 C 45/64
B 29 C 45/76

21 Aktenzeichen: 198 47 740.6-16
22 Anmeldetag: 16. 10. 1998
43 Offenlegungstag: -
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 23. 3. 2000

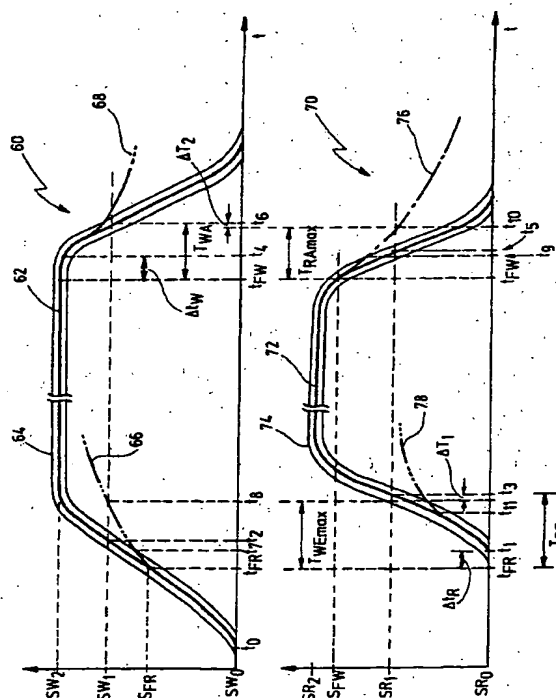
Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
Herbst, Richard, 85386 Eching, DE
74 Vertreter:
Witte, Weller, Gahlert, Otten & Steil, 70178 Stuttgart.

72 Erfinder:
gleich Patentinhaber
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 41 10 948 C2
DE 40 03 372 C1

54 Verfahren zum Steuern eines Bewegungsablaufs eines bewegbaren Bauteils einer Kunststoff-Spritzgießmaschine

57 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern eines Bewegungsablaufs eines ersten bewegbaren Bauteils (12; 16) einer Kunststoff-Spritzgießmaschine (10), dessen Bewegungsbahn (22; 28) von der Bewegungsbahn (28; 22) eines zweiten bewegbaren Bauteils (16; 12) der Kunststoff-Spritzgießmaschine (10) zumindest teilweise überlappt wird, wobei die Bewegung des ersten bewegbaren Bauteils (12; 16) in Abhängigkeit eines einen Bewegungszustand des zweiten bewegbaren Bauteils (16; 12) repräsentierenden Freigabesignals (42; 44) gestartet wird, wobei zumindest ein Zeitmaß bestimmt wird. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß ein erstes Zeitmaß (T_{WA} ; T_{RE}) und ein zweites Zeitmaß (T_{RAmax} ; T_{WEmax}) bestimmt und miteinander verglichen werden (124, 130; 104, 110), wobei das erste Zeitmaß (T_{WA} ; T_{RE}) die Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt (t_{FW} ; t_{FR}) der Erzeugung des Freigabesignals und dem Zeitpunkt (t_6 ; t_3) angibt, zu dem das erste bewegbare Bauteil (12; 16) die Bewegungsbahn (28; 22) des zweiten bewegbaren Bauteils (16; 12) erreicht, und wobei das zweite Zeitmaß (T_{RAmax} ; T_{WEmax}) die Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt der Erzeugung (t_{FW} ; t_{FR}) des Freigabesignals und dem Zeitpunkt (t_{10} ; t_8) angibt, zu dem das zweite bewegbare Bauteil (16; 12) die Bewegungsbahn (22; 28) des ersten bewegbaren Bauteils (12; 16) in Abhängigkeit von dem Vergleich der beiden ...



DE 198 47 740 C 1

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern eines Bewegungsablaufs eines ersten bewegbaren Bauteils einer Kunststoff-Spritzgießmaschine, dessen Bewegungsbahn von der Bewegungsbahn eines zweiten bewegbaren Bauteils der Kunststoff-Spritzgießmaschine zumindest teilweise überlappt wird, wobei die Bewegung des ersten bewegbaren Bauteils in Abhängigkeit eines einen Bewegungszustand des zweiten bewegbaren Bauteils repräsentierenden Freigabesignals gestartet wird und wobei zumindest ein Zeitmaß bestimmt wird.

Die Erfindung betrifft außerdem eine Kunststoff-Spritzgießmaschine mit einem ersten und einem zweiten bewegbaren Bauteil, deren Bewegungsbahnen sich zumindest teilweise überlappen, mit einer Steuereinheit zum Erzeugen eines Freigabesignals für die Bewegung des ersten bewegbaren Bauteils in Abhängigkeit eines Bewegungszustandes des zweiten bewegbaren Bauteils und mit Mitteln zum Bestimmen wenigstens eines Zeitmaßes.

Ein derartiges Verfahren und eine derartige Kunststoff-Spritzgießmaschine sind aus der DE 40 03 372 C1 bekannt.

In dieser Schrift sind bereits ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Steuern der Bewegungen zweier bewegbarer Bauteile, nämlich einer Spritzgießform und eines Handlingsgerätes beschrieben. Die Spritzgießform gehört zu einer Kunststoff-Spritzgießmaschine und weist zumindest ein bewegbares Formwerkzeug auf, das eine Öffnungs- und Schließbewegung ausführen kann. Das Handlinggerät, manchmal auch als Roboter bezeichnet, besitzt ein Greifwerkzeug, das bspw. zur Entnahme eines hergestellten Werkstücks zwischen zumindest zwei, in dem Fall dann geöffnete Formwerkzeuge ein- und ausfahrbar ist. Häufig sind solche Handlinggeräte eigenständige Anlagen, die eine mit der Kunststoff-Spritzgießmaschine zwar gekoppelte, jedoch eigenständige Steuerung aufweisen. Es ist jedoch auch der Fall denkbar, daß das Greifwerkzeug Bestandteil der Kunststoff-Spritzgießmaschine selbst ist.

Im folgenden wird zur Vereinfachung der Darstellung von dem letztgenannten Fall ausgegangen, ohne jedoch den Umfang der vorliegenden Erfindung dadurch auf eine derartige Ausführung zu beschränken.

Grundsätzlich besteht bei einer Kunststoff-Spritzgießmaschine das Problem, daß das Greifwerkzeug zwischen zumindest zwei Formwerkzeuge ein- und ausfahren muß, um ein hergestelltes Werkstück zu entnehmen und/oder ein Einlegeteil in den Formhohlraum einzulegen. Dies bedeutet, daß sich die Bewegungsbahnen der beiden Werkzeuge zumindest teilweise überlappen. Dementsprechend müssen die Bewegungen der beiden Werkzeuge aufeinander abgestimmt sein, um Kollisionen zu verhindern.

Die sicherste Möglichkeit, um letzteres zu erreichen, ist es, die Bewegungen jedes der beiden Werkzeuge erst dann zu starten, wenn das jeweils zweite Werkzeug die Bewegungsbahn des jeweils ersten verlassen hat. Dies hat jedoch den Nachteil, daß aufgrund der sich so ergebenden Totzeiten die Zykluszeit der Maschine sehr groß ist. Die Zykluszeit ist dabei die Zeit, die die Kunststoff-Spritzgießmaschine für einen vollständigen Arbeitsdurchgang bis zu dem Zeitpunkt benötigt, an dem sie wieder zur Herstellung des nächsten Werkstücks bereitsteht.

Aus der genannten DE 40 03 372 C1 ist es bekannt, die Bewegung des ersten Werkzeugs bereits zu einem Zeitpunkt zu starten, an dem das zweite Werkzeug die Bewegungsbahn des ersten noch nicht vollständig verlassen hat. Hierzu sind für jedes der beiden Werkzeuge jeweils zwei Sensoren vorgesehen, mit denen einerseits eine Position und andererseits über die Ermittlung eines Zeitmaßes auch die Ge-

schwindigkeit des Werkzeugs an dieser Position bestimmbar ist. Die beiden jeweiligen Sensoren sind mit einer Steuereinheit verbunden, die ein Freigabesignal für die Bewegung des ersten Werkzeugs erzeugt, wenn das zweite Werkzeug die Position seines zweiten Sensors mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit passiert.

Die Messung des Zeitintervalls, die das zweite Werkzeug zum Durchlaufen der Strecke zwischen den zwei ihm zugeordneten Sensoren benötigt, bietet eine Gewähr dafür, daß das Freigabesignal nur dann erzeugt wird, wenn sich das zweite Werkzeug mit einer dem Normalbetrieb entsprechenden Geschwindigkeit an einer bestimmten Position bewegt. In diesem Fall kann aufgrund der Massenträgheit davon ausgegangen werden, daß das zweite Werkzeug auch im Falle einer Störung noch mindestens eine solche Wegstrecke zurücklegt, daß es nicht zu einer Kollision kommt.

Die Optimierung der Zykluszeit einer solchen Kunststoff-Spritzgießmaschine bei gleichzeitiger Vermeidung von Kollisionen selbst im Fall einer Betriebsstörung hängt bei diesem Verfahren entscheidend von der Position des zweiten Sensors und damit von dem Zeitpunkt der Erzeugung des Freigabesignals ab. Befindet sich der zweite Sensor an einer solchen Position, daß das Freigabesignal für das erste Werkzeug zu früh erzeugt wird, so ist eine Kollision bei einer Störung des normalen Betriebsablaufs nicht vollständig ausgeschlossen.

Der ungünstigste Fall, der hierbei auftreten kann, ist, daß der Antrieb des zweiten Werkzeugs in dem Moment ausfällt, in dem das Freigabesignal für das erste Werkzeug erzeugt wird. In diesem Fall setzt sich das erste Werkzeug nämlich in Bewegung, während das zweite Werkzeug die Bewegungsbahn des ersten Werkzeugs nicht mit der im Normalbetrieb vorgegebenen Geschwindigkeit verlassen kann.

Liegt der Auslösezeitpunkt für das Freigabesignal demgegenüber zu spät, so wird die Zykluszeit der Spritzgießmaschine unnötig verlängert.

Eine Möglichkeit oder ein Verfahren, um den jeweils optimalen Auslösezeitpunkt für die Erzeugung des Freigabesignals zu bestimmen und einzustellen, ist der genannten Schrift jedoch nicht zu entnehmen.

Aus der DE 41 10 948 C2 ist ein Verfahren zur Entnahme von Spritzgießartikeln aus einer Spritzgießmaschine bekannt. Auch nach diesem Verfahren soll zur Erhöhung der Taktfolge und damit zur Verkürzung der Zykluszeit der Spritzgießmaschine die Bewegung des jeweils ersten Werkzeugs zum frühestmöglichen Zeitpunkt beginnen. Dabei werden die Bewegungsabläufe der beiden Werkzeuge jeweils mit einer in einer Steuereinheit abgelegten Weg-Zeit-Funktion verglichen, um bei einer unzulässigen Abweichung des vorgegebenen Bewegungsablaufes eine Nachregelung oder eine Notabschaltung zu veranlassen. Hinsichtlich der oben genannten Optimierung ist in dieser Schrift jedoch ebenfalls nur allgemein gesagt, daß durch die Notabschaltung eine Kollision sicher vermieden werden soll. Auf welche Weise der Auslösezeitpunkt zur Erzeugung des Freigabesignals optimal bestimmt werden kann, ist auch dieser Schrift nicht zu entnehmen.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, bei dem die Zykluszeit der Kunststoff-Spritzgießmaschine einerseits so kurz wie möglich ist und bei dem andererseits auch im ungünstigsten Fall eine Kollision der bewegbaren Bauteile vermieden ist. Es ist weiterhin Aufgabe der Erfindung, eine dementsprechende Kunststoff-Spritzgießmaschine anzugeben.

Hinsichtlich des eingangs genannten Verfahrens wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß ein erstes Zeitmaß und ein zweites Zeitmaß bestimmt und miteinander verglichen

werden, wobei das erste Zeitmaß die Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt der Erzeugung des Freigabesignals und dem Zeitpunkt angibt, zu dem das erste bewegbare Bauteil die Bewegungsbahn des zweiten bewegbaren Bauteils erreicht, und wobei das zweite Zeitmaß die Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt der Erzeugung des Freigabesignals und dem Zeitpunkt angibt, zu dem das zweite bewegbare Bauteil die Bewegungsbahn des ersten bewegbaren Bauteils verläßt, und daß der Bewegungsablauf des ersten bewegbaren Bauteils in Abhängigkeit von dem Vergleich der beiden Zeitmaße so gesteuert wird, daß die Differenz des zweiten Zeitmaßes und des ersten Zeitmaßes kleiner als ein vorgegebener, minimaler Toleranzwert ist.

Hinsichtlich der Vorrichtung wird die Aufgabe in Verbindung mit dem Oberbegriff des Patentanspruchs 21 dadurch gelöst, daß ein erstes Zeitmaß eine Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt der Erzeugung des Freigabesignals und dem Zeitpunkt angibt, zu dem das erste bewegbare Bauteil die Bewegungsbahn des zweiten bewegbaren Bauteils erreicht, und daß ein zweites Zeitmaß eine Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt der Erzeugung des Freigabesignals und dem Zeitpunkt angibt, zu dem das zweite bewegbare Bauteil die Bewegungsbahn des ersten bewegbaren Bauteils verläßt, und daß ferner die Steuereinheit Mittel aufweist, um die Differenz des ersten Zeitmaßes und des zweiten Zeitmaßes zu bilden und in Abhängigkeit von der Differenz das Freigabesignal zu erzeugen.

Es wurde erkannt, daß sich das eingangs beschriebene Problem sehr gut in Form einer zeitlichen Beziehung formulieren läßt. Es wurde weiterhin erkannt, daß eine solche Formulierung sehr gut damit zusammenpaßt, daß die Optimierung der Zykluszeit der Spritzgießmaschine ebenfalls eine Problemstellung in einer zeitlichen Dimension ist. Durch Formulierung der beiden in der Aufgabe genannten Bedingungen in derselben physikalischen Dimension ist es möglich, eine Optimierungsvorschrift in einer einzigen, gemeinsamen Bedingung niederzulegen. Basierend auf dieser Erkenntnis läßt sich eine einfache und optimale Steuerung der Bewegungsabläufe der bewegbaren Bauteile erreichen.

Für die eigentliche Steuerung der Maschine, d. h. die Beeinflussung ihrer einzelnen Bewegungsparameter gibt es, wie nachfolgend noch gezeigt wird, verschiedene Möglichkeiten. Allen ist jedoch gemeinsam, daß die Steuerung auf der Basis des Vergleichs der beiden oben angegebenen Zeitmaße basiert und dadurch optimiert wird.

Der Toleranzwert, um den das zweite Zeitmaß stets kleiner sein muß als das erste Zeitmaß, gibt auf der einen Seite an, wieviel zeitliche Reserve zwischen den Bewegungen der beiden Werkzeuge selbst im Fall einer Störung noch vorhanden ist. Andererseits ist dieser Wert ein Maß dafür, wieviel zusätzliche Totzeit in der Zykluszeit vorhanden ist. Je näher der Toleranzwert an Null liegt, desto optimaler ist das Verfahren hinsichtlich der Zykluszeit.

Der Vergleich der beiden genannten Zeitmaße kann bspw. dadurch erfolgen, daß diese in einer entsprechenden Steuereinheit der erfindungsgemäßen Kunststoff-Spritzgießmaschine per Software zueinander in Beziehung gesetzt werden. Alternativ kann der Vergleich jedoch auch dadurch stattfinden, daß über entsprechende Sensoren hardwaremäßig die Differenz zwischen den beiden Zeitmaßen bestimmt wird und sodann erst diese Differenz auf ihren Betrag und ihr Vorzeichen hin ausgewertet wird. Darüber hinaus sind jedoch auch alle anderen Möglichkeiten zur Bestimmung und Auswertung einer zeitlichen Differenz im Rahmen der vorliegenden Erfindung anwendbar. Welche dieser Alternativen jeweils die günstigere ist, hängt von den konstruktiven Gegebenheiten einer entsprechenden Kunststoff-Spritzgießmaschine ab.

Die Bestimmung der beiden zu vergleichenden Zeitmaße erfolgt einmalig nach der ersten oder jeder erneuten Inbetriebnahme der Maschine. Alternativ kann sie auch im Arbeitsbetrieb wiederholt werden.

Schließlich sei an dieser Stelle angemerkt, daß unter dem Begriff Zeitmaß hier jede Größe verstanden wird, die geeignet ist, eine Zeit zu repräsentieren. Hierzu ist es nicht erforderlich, daß diese Größe tatsächlich in einer Einheit wie bspw. Sekunden oder Sekundenbruchteile bestimmt wird. Ebenso können die Zeitmaße auch eine dimensionslose Anzahl von zeitlich aufeinander folgenden gleichen oder ungleichen Impulsen sein.

Der Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist, daß mit ihm eine Kollision der Werkzeuge selbst bei einer Betriebsstörung im ungünstigsten Zeitpunkt verhindert ist, während gleichzeitig die Zykluszeit der Maschine unter Berücksichtigung dieser Bedingung optimal kurz eingestellt ist. Darüber hinaus besitzt das Verfahren den Vorteil, daß es ohne größeren konstruktiven Aufwand an einer erfindungsgemäßen Kunststoff-Spritzgießmaschine zu realisieren ist. Dementsprechend stehen dem erreichbaren Vorteil keine nennenswerten zusätzlichen Kosten gegenüber.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist, daß sich der optimale Auslösezeitpunkt für die Erzeugung des Freigabesignals sehr schnell und exakt einstellen läßt. Außerdem kann der Auslösezeitpunkt so auch rein maschinell eingestellt werden.

Durch das angegebene Verfahren und die angegebene Kunststoff-Spritzgießmaschine wird die vorstehende Aufgabe somit vollkommen gelöst.

In einer Ausgestaltung der Erfindung ist eines der bewegbaren Bauteile ein Formwerkzeug, das relativ zu einem weiteren Formwerkzeug eine Öffnungs- und Schließbewegung ausführen kann, und das andere der bewegbaren Bauteile ist ein Greifwerkzeug, das zwischen die Formwerkzeuge ein- und ausfahrbar ist.

Diese Maßnahme besitzt den Vorteil, daß das erfindungsgemäße Verfahren somit auf die beiden wesentlichen, die Funktion einer Kunststoff-Spritzgießmaschine bestimmenden Bauteile Anwendung findet. Dementsprechend kommen die zuvor genannten Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens in vollem Umfang zur Geltung. Generell ist das Verfahren jedoch auch für andere bewegbaren Bauteile einer Kunststoff-Spritzgießmaschine anwendbar, deren Bewegungsbahnen sich zumindest teilweise überlappen.

In einer weiteren Ausgestaltung wird zumindest eines der Zeitmaße mittels eines Sensors bestimmt.

Diese Maßnahme besitzt den Vorteil, daß das zumindest eine bestimmte Zeitmaß Veränderungen im Bewegungsablauf des entsprechenden Bauteils, bspw. aufgrund von Temperaturveränderungen oder Alterungsprozessen, berücksichtigt.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist ein anderes der Zeitmaße als Parameter in einer Steuereinheit der Kunststoff-Spritzgießmaschine abgelegt.

Diese Maßnahme besitzt den Vorteil, daß hierdurch der Hardware-Aufwand und damit auch die Kosten einer erfindungsgemäßen Kunststoff-Spritzgießmaschine reduziert werden. Die genannte Maßnahme ist möglich aufgrund der Tatsache, daß nicht sämtliche Parameter in den Bewegungsabläufen einer Kunststoff-Spritzgießmaschine derartig wesentlichen oder schnellen Änderungen unterliegen, die eine wiederholte, jeweils aktualisierte Messung mittels eines Sensors erfordern.

In einer weiteren Ausgestaltung der zuvor genannten Maßnahmen ist das zumindest eine Zeitmaß für die Bewegung des Greifwerkzeugs repräsentativ.

Diese Maßnahme stützt sich auf den Umstand, daß das

Greifwerkzeug einer Kunststoff-Spritzgießmaschine in der Regel leichter ist als das oder die bewegbaren Formwerkzeuge. Dementsprechend läßt sich das dynamische Verhalten des Greifwerkzeugs einfacher, leichter und schneller beeinflussen. Gleichzeitig unterliegen jedoch gerade dessen Bewegungen stärkeren und schnelleren Veränderungen im Betrieb einer Maschine. Die genannte Maßnahme besitzt somit den Vorteil, daß dasjenige Zeitmaß, das stärkeren und kurzfristigeren Schwankungen unterworfen ist, anhand aktuell erfaßter Betriebsparameter bestimmt wird.

In einer weiteren Ausgestaltung der zuvor genannten Maßnahmen ist das andere Zeitmaß für die Bewegung des Formwerkzeugs repräsentativ.

Diese Maßnahme knüpft an die zuvor genannten Umstände an und besitzt den Vorteil, daß Einsparungen beim Hardware-Aufwand nur dort vorgenommen werden, wo dies aufgrund der Gegebenheiten ohne spürbare nachteilige Auswirkung auf die Steuerung der Maschine möglich ist.

Insgesamt bieten die zuvor genannten Maßnahmen somit den Vorteil, einerseits den Aufwand und damit die Kosten einer Kunststoff-Spritzgießmaschine für das erfindungsgemäße Verfahren zu minimieren und andererseits gleichzeitig für eine optimale Steuerung der Betriebsabläufe zu sorgen. Die genannten Maßnahmen sind darüber hinaus besonders vorteilhaft für den Fall, daß das Greifwerkzeug nicht Bestandteil einer erfindungsgemäßen Kunststoff-Spritzgießmaschine ist, sondern als Bestandteil eines separaten Handlinggerätes an eine solche angepaßt werden muß. In diesem Fall verringert sich aufgrund der genannten Maßnahmen der Applikationsaufwand, da in die Steuerung der Spritzgießmaschine nicht über das auch bisher unbedingt notwendige Maß eingegriffen zu werden braucht.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird zumindest eines der Zeitmaße anhand einer Veränderung einer Beschleunigung, einer Wegstrecke und/oder einer Totzeit zumindest eines bewegbaren Bauteils eingestellt.

Diese Maßnahme besitzt den Vorteil, daß über eine Einstellung dieser Parameter die Bewegungsabläufe der bewegbaren Bauteile einfach und zuverlässig aufeinander abgestimmt werden können. Die Maßnahme ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn über die Veränderung der genannten Größen das Zeitmaß und somit der Bewegungsablauf des Greifwerkzeugs einer Kunststoff-Spritzgießmaschine eingestellt wird, da dieses wie bereits genannt aufgrund seines geringeren Gewichtes eine höhere Flexibilität ermöglicht.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird das Freigabesignal erzeugt, wenn das zweite bewegbare Bauteil eine vorbestimmte Auslöseposition erreicht und die Auslöseposition wird in Abhängigkeit vom ersten und zweiten Zeitmaß eingestellt.

Diese Maßnahme besitzt den Vorteil, daß sie eine besonders einfache Steuerung ermöglicht, die allein durch Änderung in der Steuerungssoftware Änderungen der Bewegungsabläufe der bewegbaren Bauteile ermöglicht. Im einzelnen wird die Auslöseposition für die Erzeugung des Freigabesignals in Abhängigkeit des Vergleichs der beiden Zeitmaße, ggf. iterativ, in Richtung einer früheren Auslösung verschoben, um die Differenz der Zeitmaße auf den gewünschten Wert einzustellen. Je früher im Bewegungsablauf des zweiten bewegbaren Bauteils das Freigabesignal für das erste bewegbare Bauteil erzeugt wird, desto früher erreicht das erste bewegbare Bauteil die Bewegungsbahn des zweiten bewegbaren Bauteils.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird das zweite Zeitmaß anhand einer Simulation bestimmt, bei der ein Ausfall eines Antriebs des zweiten bewegbaren Bauteils im Zeitpunkt der Erzeugung des Freigabesignals simuliert wird.

Diese Maßnahme besitzt den Vorteil, daß damit das zweite Zeitmaß meßtechnisch für den Fall einer Störung bestimmt wird, der praktisch dem ungünstigsten Fall, d. h. dem worst case entspricht. Dementsprechend werden sämtliche individuelle Maschinentoleranzen bei dieser Bestimmung des zweiten Zeitmaßes erfaßt. Eine Kollision der bewegbaren Bauteile ist damit unter allen denkbaren Umständen zuverlässig vermieden. Andererseits läßt sich das zweite Zeitmaß auf diese Weise sehr einfach für den ungünstigsten möglichen Fall bestimmen.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird ein Fehlersignal erzeugt, wenn der Antrieb des zweiten bewegbaren Bauteils ausfällt und bei Vorliegen des Fehlersignals wird die Bewegung des ersten bewegbaren Bauteils gestoppt oder unterbunden.

Diese Maßnahme besitzt den Vorteil, daß hierdurch das erste Zeitmaß für den relevanten Fall einer Störung des Antriebs des zweiten bewegbaren Bauteils verlängert wird bzw. daß sogar ein sich in Bewegung Setzen des ersten bewegbaren Bauteils verhindert wird. Der letztgenannte Fall ist jedoch nur möglich, wenn das Fehlersignal bereits so früh vorliegt, daß die Bewegung des ersten bewegbaren Bauteils unter Berücksichtigung von Signallauf- und Schaltzeiten tatsächlich noch unterbunden werden kann. Liegt das Fehlersignal jedoch erst zu einem Zeitpunkt vor, an dem das erste bewegbare Bauteil bereits sein Freigabesignal erhalten hat, so läßt sich dessen Bewegung aufgrund der Signallauf- und Schaltzeiten in der Regel nicht mehr vollständig unterbinden. Wird in einem solchen Fall jedoch die Bewegung des ersten bewegbaren Bauteils verzögert, verlängert sich die Zeit, bis dieses die Bewegungsbahn des zweiten bewegbaren Bauteils erreicht. Durch die Berücksichtigung dieses Zeitgewinns läßt sich die Zykluszeit der Kunststoff-Spritzgießmaschine im störungsfreien Betrieb verringern, ohne daß im Fall einer Störung des Antriebs des zweiten Werkzeugs eine Kollision auftreten kann.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird ein Fehlersignal erzeugt, wenn ein Bewegungsablauf des zweiten bewegbaren Bauteils ein vorgegebenes Toleranzband verläßt, und bei Vorliegen des Fehlersignals wird die Bewegung des ersten bewegbaren Bauteils gestoppt oder unterbunden.

Diese Maßnahme besitzt die gleichen Vorteile wie die zuvor genannte Maßnahme. Sie ist besonders vorteilhaft in Ergänzung zu der zuvor genannten Maßnahme, da mit ihrer Hilfe auch Störungen im Bewegungsablauf des zweiten bewegbaren Bauteils berücksichtigt werden, die nicht auf einen Ausfall des Antriebs zurückzuführen sind.

In einer weiteren Ausgestaltung dieser Maßnahme wird das Toleranzband vor einem Betrieb der Spritzgießmaschine unter Produktionsbedingungen durch mehrfaches Durchfahren des Bewegungsablaufs empirisch bestimmt.

Diese Maßnahme besitzt den Vorteil, daß das Toleranzband Veränderungen in den tatsächlichen Bewegungsabläufen der bewegbaren Bauteile angepaßt wird. Hierdurch ist es möglich, die Breite des Toleranzbandes sehr klein zu wählen, wodurch Störungen im Betriebsablauf des zweiten bewegbaren Bauteils frühzeitiger erkannt werden.

In einer Ausgestaltung der zuvor genannten Maßnahme wird das Toleranzband unter Produktionsbedingungen in vorbestimmten Zeitabständen nachgemessen und entsprechend nachjustiert.

Diese Maßnahme besitzt den Vorteil, daß das Toleranzband auch Veränderungen der Bewegungsabläufe im Betrieb der Kunststoff-Spritzgießmaschine angepaßt wird. Hierdurch läßt sich nochmals eine Verringerung der Breite des Toleranzbandes und eine damit verbundene frühzeitige Erkennung von Fehlfunktionen erreichen.

In einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Bestimmung des zumindest einen Zeitmaßes im Verlaufe des Verfahrens wiederholt durchgeführt.

Diese Maßnahme besitzt ebenfalls den Vorteil, daß Veränderungen in den Bewegungsabläufen der bewegbaren Bauteile, bspw. aufgrund von Temperaturänderungen, stets berücksichtigt werden.

In einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine Versorgungsspannung für den Antrieb des zweiten bewegbaren Bauteils mit einem Speichermittel so gepuffert, daß der Antrieb des zweiten bewegbaren Bauteils auch bei Ausfall der Versorgungsspannung solange aufrechterhalten wird, bis das zweite bewegbare Bauteil die Bewegungsbahn des ersten bewegbaren Bauteils verlassen hat.

Diese Maßnahme besitzt den Vorteil, daß hierdurch das zweite Zeitmaß verkürzt wird, da die Bewegung des zweiten bewegbaren Bauteils auch bei Ausfall der Versorgungsspannung noch für eine gewisse Zeitspanne aufrechterhalten wird. In der Regel liegt diese Zeitspanne in der Größenordnung von 300 ms. Die Reduzierung des zweiten Zeitmaßes ermöglicht es, das erste Zeitmaß kleiner einzustellen, wodurch die Zykluszeit der Kunststoff-Spritzgießmaschine insgesamt ebenfalls kürzer wird. Die Pufferung der Versorgungsspannung wird bevorzugt durch eine Erhöhung der Kapazität im sogenannten Zwischenkreis, das ist ein Gleichrichter-Schaltungsteil zur Glättung einer wechselförmigen Netzspannung, erreicht.

Der Ausfall der Spannungsversorgung für den Antrieb eines bewegbaren Bauteils ist bei gattungsgemäßen Kunststoff-Spritzgießmaschinen eine der häufigsten Fehlerursachen. Ursache hierfür können bspw. elektromagnetische Störungen im Umfeld der Spritzgießmaschine sein.

In einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das erste bewegbare Bauteil im Fall einer Störung im Bewegungsablauf des zweiten bewegbaren Bauteils mit maximaler Verzögerung gebremst.

Diese Maßnahme gewinnt ihre Bedeutung daraus, daß die bewegbaren Bauteile normalerweise geregelt verzögert werden. Diese Regelung muß demnach abgeschaltet oder übersteuert werden. Die Maßnahme besitzt den Vorteil, daß hierdurch das erste Zeitmaß im Fall einer Betriebsstörung dynamisch vergrößert wird. Hierdurch ist es möglich, das erste Zeitmaß im störungsfreien Betrieb kleiner zu bemessen, wodurch wiederum die Zykluszeit der Maschine verkürzt wird. Aufgrund der dynamischen Vergrößerung des ersten Zeitmaßes im Störfall ist jedoch gleichzeitig sichergestellt, daß eine Kollision der bewegbaren Bauteile vermieden wird.

In einer weiteren Ausgestaltung wird das erste bewegbare Bauteil im störungsfreien Arbeitsbetrieb mit einem ersten Bremsmittel gebremst und es wird im Fall einer Störung mit Hilfe eines zusätzlichen Bremsmittels mit einer gegenüber dem Arbeitsbetrieb stärkeren Verzögerung abgebremst.

Zum Abbremsen kann direkt auf den Antrieb eingewirkt werden. Gemäß einer ersten Alternative ist es aber auch möglich, eine externe Bremse vorzusehen, bspw. eine Bakkenbremse. Nach einer weiteren Alternative kann auch ein Stoßfänger eingesetzt werden, in dem Bewegungsenergie in Verformung umgesetzt wird. Derartige Stoßfänger sind z. B. als Pralltöpfe ausgebildet und stehen als Standardteile des Automobilbaus zur Verfügung.

Diese Maßnahme besitzt den Vorteil, daß hierdurch eine höhere maximale Bremskraft aufgebracht werden kann, als dies im störungsfreien Arbeitsbetrieb der Spritzgießmaschine erforderlich ist. Durch die erhöhte Bremskraft im Fall einer Störung wird, wie zuvor dargelegt, das erste Zeitmaß dynamisch vergrößert. In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung dieser Maßnahme wird die Regelung der Verzögerung des ersten bewegbaren Bauteils abgeschaltet, um zu

verhindern, daß diese Regelung der Erzeugung einer maximalen Bremskraft entgegenwirkt. Hierdurch wird sichergestellt, daß das erste Zeitmaß im Fall einer Störung auf ein maximal mögliches Maß ausgedehnt wird. Der hierdurch erzielte Gewinn an zeitlicher Sicherheitsreserve wird vorteilhafterweise im störungsfreien Arbeitsbetrieb der Spritzgießmaschine zur Reduzierung der Zykluszeit berücksichtigt.

In einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das erste bewegbare Bauteil nach Erhalt des Freigabesignals zunächst mit einer geringeren Beschleunigung beschleunigt und es wird nach dem Passieren eines letztmöglichen kollisionsfreien Anhaltepunktes zumindest bis zum Eintritt in die Bewegungsbahn des zweiten bewegbaren Bauteils mit maximaler Beschleunigung beschleunigt.

Durch diese Maßnahme wird erreicht, daß der kritische Raumbereich, innerhalb dem das erste bewegbare Bauteil nicht mehr rechtzeitig zur Verhinderung einer Kollision angehalten werden kann, soweit wie möglich verkürzt wird. Solange das erste bewegbare Bauteil den letztmöglichen kollisionsfreien Anhaltepunkt noch nicht passiert hat, kann es bei Auftreten einer Störung im Bewegungsablauf des zweiten bewegbaren Bauteils noch vor dem Eintritt in dessen Bewegungsbahn angehalten werden. Hierdurch wird eine Kollision unabhängig von der Stellung des zweiten bewegbaren Bauteils zuverlässig vermieden.

Nach dem Passieren des letztmöglichen kollisionsfreien Anhaltepunktes kann das erste bewegbare Bauteil jedoch nicht mehr vor Eintritt in die Bewegungsbahn des zweiten bewegbaren Bauteils angehalten werden. Der denkbar ungünstigste Fall für das Auftreten einer Störung im Antrieb des zweiten bewegbaren Bauteils ist somit der Moment, in dem das erste bewegbare Bauteil den letztmöglichen kollisionsfreien Anhaltepunkt passiert. Bei einer vor diesem Zeitpunkt auftretenden Störung wird das erste bewegbare Bauteil aufgrund des in diesem Fall erzeugten Notstoppsignals rechtzeitig angehalten. Bei einer zu einem späteren Zeitpunkt auftretenden Störung hat sich das zweite bewegbare Bauteil demgegenüber schon weiter aus der Bewegungsbahn des ersten bewegbaren Bauteils entfernt. Die vorstehend genannte Maßnahme besitzt den Vorteil, daß der Zeitraum zwischen der Erzeugung des Freigabesignals und dem Passieren des letztmöglichen kollisionsfreien Anhaltepunktes soweit wie möglich ausgedehnt wird, während der Zeitraum nach Passieren des letztmöglichen Anhaltepunktes soweit wie möglich verkürzt wird. Die auf diese Weise verkürzte kritische Zeitdauer ermöglicht es, die Zykluszeiten der Spritzgießmaschine im störungsfreien Betrieb zu verkürzen. In einer Ausgestaltung dieser Maßnahme wird die Zeitdauer seit dem Passieren des letztmöglichen kollisionsfreien Anhaltepunktes zur Steuerung der Bewegungsabläufe verwendet.

In einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens verläuft die Bewegungsbahn eines der bewegbaren Bauteile in etwa vertikal, wobei dieses bewegbare Bauteil von oben in die Bewegungsbahn des anderen bewegbaren Bauteils einfährt, und im Fall einer Störung wird das zuerst genannte Bauteil mit einem Haltemittel gegen ein Herabfallen gesichert.

Diese Maßnahme ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn durch den Ausfall der Versorgungsspannung das vertikal von oben einfahrende Bauteil seine Fixierung gegenüber der Schwerkraft verliert. Die Maßnahme besitzt somit den Vorteil, daß auch unter diesen Bedingungen eine Kollision der beiden bewegbaren Bauteile zuverlässig verhindert wird.

Schließlich kann bevorzugt eine gemeinsame Steuereinheit für beide bewegbare Bauteile vorgesehen sein, in der die Bewegungsabläufe beider Bauteile unmittelbar vergli-

chen werden und im Falle einer Störung ein Störsignal erzeugt wird.

Diese Maßnahme hat den Vorteil, daß infolge der durch den Vergleich bewirkten Synchronisierung der Bewegungsabläufe im Falle einer Störung auf kürzestmöglichem Wege Abhilfe geschaffen werden kann, indem z. B. eine Notbremsung oder Abschaltung ausgelöst wird. Die auftretenden Totzeiten werden auf diese Weise minimiert.

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand einer Zeichnung erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Kunststoff-Spritzgießmaschine mit einem sich zu Beginn der Öffnungsbewegung befindenden Formwerkzeug und einem sich zu Beginn der Einfahrbewegung befindenden Greifwerkzeug,

Fig. 2 die Kunststoff-Spritzgießmaschine aus Fig. 1 mit einem sich zu Beginn der Schließbewegung befindenden Formwerkzeug und einem sich zu Beginn der Ausfahrbewegung befindenden Greifwerkzeug,

Fig. 3 ein Weg-Zeit-Diagramm, das den Bewegungsablauf des Formwerkzeugs aus Fig. 1 darstellt,

Fig. 4 ein Weg-Zeit-Diagramm, das den Bewegungsablauf des Greifwerkzeugs aus Fig. 1 darstellt,

Fig. 5 ein Flußdiagramm zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens beim Einfahren des Greifwerkzeugs in die Bewegungsbahn des Formwerkzeugs,

Fig. 6 ein Flußdiagramm zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens beim Ausfahren des Greifwerkzeugs aus der Bewegungsbahn des Formwerkzeugs und

Fig. 7 den Verlauf der Geschwindigkeit des Greifwerkzeugs vor und nach dem Eintritt in die Bewegungsbahn des Formwerkzeugs.

In den Fig. 1 und 2 ist eine erfindungsgemäße Kunststoff-Spritzgießmaschine in ihrer Gesamtheit mit der Bezugsziffer 10 bezeichnet.

Die Kunststoff-Spritzgießmaschine 10 weist ein erstes bewegbares Bauteil auf, welches hier aus einem bewegbaren Formwerkzeug 12 sowie einem feststehenden Formwerkzeug 14 besteht. Dieses Ausführungsbeispiel ist zur Vereinfachung der Darstellung gewählt und schließt andere Ausführungsbeispiele mit mehreren bewegbaren Formwerkzeugen, insbesondere Etagenwerkzeugen nicht aus.

Mit der Bezugsziffer 16 ist ein zweites bewegbares Bauteil bezeichnet, und zwar ein Greifwerkzeug, das wie in der Fig. 2 gezeigt zur Entnahme eines Werkstücks 18 aus einem Hohlraum 20 des Formwerkzeugs 14 in einen Bereich zwischen den Formwerkzeugen 12 und 14 einfahrbar ist.

Mit der Bezugsziffer 22 ist in Fig. 2 die Bewegungsbahn des bewegbaren Formwerkzeugs 12 bezeichnet, die durch die Linien 24 und 26 begrenzt wird. Die Bewegungsbahn 22 des Formwerkzeugs 12 wird teilweise von der Bewegungsbahn 28 des Greifwerkzeugs 16 überlappt, die in der Fig. 2 anhand der Linien 30 und 32 angedeutet ist.

Insbesondere die Darstellung der Bewegungsbahn 28 des Greifwerkzeugs 16 ist hier nur beispielhaft zu verstehen, da sich dessen linearer Ein- bzw. Ausfahrbewegung weitere Bewegungen, die zur Entnahme des Werkstücks 18 erforderlich sind, überlagern können.

Mit der Bezugsziffer 34 ist eine Steuereinheit bezeichnet, der die Signale eines Sensors 36 und eines optional vorgesehenen und dementsprechend nur gestrichelt angedeuteten Sensors 38 zugeführt sind. Der Sensor 36 ist an einer Position SR_1 angeordnet, die der Position entspricht, an der das Greifwerkzeug 16 die Bewegungsbahn 22 des Formwerkzeugs 12 erreicht bzw. verläßt. Der optional vorgesehene Sensor 38 ist an einer Position SW_1 angeordnet, die der Position entspricht, an der das Formwerkzeug 12 die Bewegungsbahn 28 des Greifwerkzeugs 16 erreicht bzw. verläßt.

Der Sensor 36 ist im vorliegenden Fall geeignet, Markierungen 40, die auf dem Greifwerkzeug 16 angebracht sind, inkremental abzulesen, woraus die Steuereinheit 34 die jeweils aktuelle Position des Greifwerkzeugs 16 und dessen Geschwindigkeit bestimmen kann. Entsprechend ausgelegt ist auch der Sensor 38.

Ausgehend von der Steuereinheit 34 ist ein Steuersignal 42 einer Antriebseinheit 43 des bewegbaren Formwerkzeugs 12 und ein Steuersignal 44 einer Antriebseinheit 45 des Greifwerkzeugs 16 zugeführt. Mittels der Antriebseinheiten 43 und 45 werden das Formwerkzeug 12 und das Greifwerkzeug 16 beschleunigt und verzögert. Dementsprechend beinhalten die Steuersignale 42 und 44 einerseits Freigabesignale für die Bewegung des jeweiligen Werkzeugs und andererseits Notstoppsignale.

Die Antriebseinheiten 43 und 45 benötigen jeweils eine Versorgungsspannung, die im Fall der Antriebseinheit 43 mit U_{VW} und im Fall der Antriebseinheit 45 mit U_{VR} bezeichnet ist. Die Versorgungsspannungen U_{VW} und U_{VR} sind bei bekannten Kunststoff-Spritzgießmaschinen üblicherweise Gleichspannungen, die durch Gleichrichtung einer wechselförmigen Netzspannung U_N erzeugt werden. Dies geschieht üblicherweise im sogenannten Zwischenkreis.

Bei der hier dargestellten Kunststoff-Spritzgießmaschine 10 enthalten die jeweiligen Zwischenkreise zusätzliche oder in ihrer Kapazität vergrößerte Speichermittel 46 und 48. Die Speichermittel 46 und 48 dienen zur Pufferung der Versorgungsspannungen U_{VW} bzw. U_{VR} , um so die Bewegung der jeweiligen Werkzeuge auch bei Ausfall der Versorgungsspannung zumindest eine gewisse Zeitspanne lang weiter aufrechterhalten zu können. Bei der hier dargestellten Kunststoff-Spritzgießmaschine liegt diese Zeitspanne in der Größenordnung von 300 ms.

Ausgehend von der Steuereinheit 34 ist ein weiteres Steuersignal 50 einem zusätzlichen Bremsmittel 51 und ein weiteres Steuersignal 52 einem zusätzlichen Bremsmittel 53 zugeführt. Das zusätzliche Bremsmittel 51 wirkt auf das Formwerkzeug 12 und dient dazu, dieses bei Vorliegen einer Störung im Bewegungsablauf des Greifwerkzeugs 16 mit maximaler Verzögerung abzubremesen. Das zusätzliche Bremsmittel 53 dient umgekehrt dazu, das Greifwerkzeug 16 im Fall einer Störung im Bewegungsablauf des Formwerkzeugs 12 mit maximaler Verzögerung abzubremesen. Die zusätzlichen Bremsmittel 51 und 53 werden bei der Kunststoff-Spritzgießmaschine 10 in Ergänzung zu der Bremswirkung der jeweiligen Antriebseinheiten 43 und 45 verwendet, um jeweils eine maximale Verzögerung zu erreichen. Das zusätzliche Steuersignal 52 und das zusätzliche Bremsmittel 53 sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nur in der Fig. 1 dargestellt.

Zur nachfolgenden Erläuterung der Bewegungsabläufe sind weiterhin zwei Koordinatenachsen SR und SW eingezeichnet, deren eingezeichnete Positionen denen in den Weg-Zeit-Diagrammen der Fig. 3 und 4 entsprechen.

In der in Fig. 1 dargestellten Situation beginnt das Greifwerkzeug 16 seine Bewegung in Richtung des Pfeils 55. Das hierzu erforderliche Freigabesignal 44 wird in dem Zeitpunkt erzeugt, in dem das Formwerkzeug 12 in Richtung des Pfeils 56 die Auslöseposition S_{FR} passiert. In Fig. 2 ist der umgekehrte Fall dargestellt, bei dem sich das Formwerkzeug 12 in Richtung des Pfeils 57 in Bewegung setzt, sobald es ein Freigabesignal 42 erhält. Dieses wird erzeugt, wenn das Greifwerkzeug 16 in Richtung des Pfeils 58 die Auslöseposition S_{FW} passiert.

Mit dem Pfeil 59 ist angedeutet, daß die Auslöseposition S_{FW} softwaremäßig innerhalb der Steuereinheit 34 veränderbar ist, um so den Auslösezeitpunkt für die Erzeugung

des Freigabesignals 42 zu verändern.

Der Bewegungsablauf des Formwerkzeugs 12 ist hier vollständig als Parameter in der Steuereinheit 34 abgelegt und die Steuerung des Bewegungsablaufs des Greifwerkzeugs 16 erfolgt in Abhängigkeit der Parameterdaten durch Veränderung der Beschleunigung des Auslösepunktes S_{FW} und/oder der Totzeiten des Greifwerkzeugs 16.

Zusätzlich erhält die Steuereinheit 34 Fehlersignale F_W und F_R von hier nicht dargestellten Überwachungsschaltungen, die erzeugt werden, wenn eine Störung im Bewegungsablauf des jeweiligen Werkzeugs 12 und 16 festgestellt wird. Eine mögliche Quelle zur Erzeugung dieser Fehlersignale sind Spannungsüberwachungsschaltungen, die die Versorgungsspannungen U_{VW} und U_{VR} überwachen.

In Fig. 3 ist ein Weg-Zeit-Diagramm für den Bewegungsablauf des bewegbaren Formwerkzeugs 12 in seiner Gesamtheit mit der Bezugsziffer 60 bezeichnet. Ausgehend von der Position SW_0 verläuft die Kurve 62 zunächst monoton ansteigend bis zur Position SW_2 . Dieser erste Teil der Kurve 62 beschreibt die Öffnungsbewegung des Formwerkzeugs 12. Danach anschließend verläuft die Kurve 62 ausgehend von der Position SW_2 zunächst konstant waagerecht und sodann monoton abfallend wieder zurück zur Position SW_0 . Dieser abfallende hintere Teil der Kurve 62 beschreibt die Schließbewegung des Formwerkzeugs 12.

Mit der Bezugsziffer 64 ist ein Toleranzband bezeichnet, innerhalb dessen die Kurve 62 bei einem störungsfreien Betrieb des Formwerkzeugs 12 verläuft. Ein Verlassen des Toleranzbandes 64 bedeutet, daß eine Störung im Bewegungsablauf des Formwerkzeugs 12 vorliegt. Ein solcher Fall ist mit dem Verlauf 66 angedeutet.

Der Verlauf 68 beschreibt einen Bewegungsablauf, bei dem das bewegbare Formwerkzeug 12 aufgrund einer Störung im Antrieb des Greifwerkzeugs 16 ein Notstoppsignal erhält und dementsprechend abgebremst wird.

In Fig. 4 ist ein Weg-Zeit-Diagramm zur Beschreibung des Bewegungsablaufs des Greifwerkzeugs 16 in seiner Gesamtheit mit der Bezugsziffer 70 bezeichnet. Dabei verläuft die Kurve 72 ausgehend von einer Position SR_0 zunächst monoton ansteigend bis zu einer Position SR_2 . Dieser erste Teil der Kurve 72 beschreibt die Einfahrbewegung des Greifwerkzeugs 16 zwischen die Formwerkzeuge 12 und 14. Im Anschluß daran verläuft die Kurve 72 ausgehend von der Position SR_2 zunächst konstant waagerecht und sodann monoton abfallend wieder zur Position SR_0 . Der abfallende hintere Teil der Kurve 72 beschreibt die Ausfahrbewegung des Greifwerkzeugs 16 aus dem Bereich zwischen den Formwerkzeugen 12 und 14. Mit der Bezugsziffer 74 ist ein Toleranzband bezeichnet, innerhalb dessen die Kurve 72 bei einem störungsfreien Betrieb des Greifwerkzeugs 16 verläuft. Ein Verlassen des Toleranzbandes 74, wie dies mit dem Verlauf 76 dargestellt ist, deutet wiederum auf eine Störung des Bewegungsablaufs hin. Mit dem Verlauf 78 ist wiederum der Fall dargestellt, bei dem das Greifwerkzeug 16 aufgrund eines Notstoppsignals abgebremst bzw. gestoppt wird.

Nachfolgend wird anhand der Weg-Zeit-Diagramme 60 und 70 zunächst ein störungsfreier Bewegungsablauf des Formwerkzeugs 12 und des Greifwerkzeugs 16 beschrieben.

Der Bewegungsablauf beginnt zum Zeitpunkt t_0 damit, daß sich das Formwerkzeug 12 in Richtung des Pfeils 56 in Bewegung setzt. Zu dem Zeitpunkt, in dem das Formwerkzeug 12 die Position S_{FR} erreicht, wird das Freigabesignal 44 für das Greifwerkzeug 16 erzeugt. Dabei werden von der Steuereinheit 34 weitere Größen wie bspw. das Vorliegen des Fehlersignals F_W und ggf. auch die Geschwindigkeit des Formwerkzeugs 12 zum Zeitpunkt t_{FR} berücksichtigt. Das Erreichen der Position S_{FR} wird entweder mit Hilfe des Sen-

sors 38 detektiert oder aus dem bekannten Bewegungsablauf des Formwerkzeugs 12 abgeleitet. Aufgrund des Freigabesignals 44 setzt sich das Greifwerkzeug 16 in Richtung des Pfeils 55 in Bewegung, wobei hier eine durch Signallaufzeiten und Schaltzeiten bedingte Totzeit Δt_R berücksichtigt ist.

Das Formwerkzeug 12 erreicht zum Zeitpunkt t_2 die Position SW_1 , an der es die Bewegungsbahn 28 des Greifwerkzeugs 16 verläßt. Zu diesem Zeitpunkt befindet sich das Greifwerkzeug 16 noch vor der Position SR_1 .

Das Greifwerkzeug 16 passiert die Position SR_1 zum Zeitpunkt t_3 und tritt damit in die Bewegungsbahn 22 des Formwerkzeugs 12 ein. Der Zeitpunkt t_3 liegt nach dem Zeitpunkt t_2 . Dementsprechend erfolgt keine Kollision der beiden Werkzeuge 12 und 16.

Im weiteren Verlauf bewegt sich das Formwerkzeug 12 in seine geöffnete Endposition SW_2 und das Greifwerkzeug 16 in seine Greifposition SR_2 . Hier nimmt das Greifwerkzeug 16 ein hergestelltes Werkstück 18 auf und beginnt anschließend seine Ausfahrbewegung.

Zum Zeitpunkt t_{FW} passiert das Greifwerkzeug 16 die Auslöseposition S_{FW} , was mit Hilfe des Sensors 36 detektiert wird. Die Steuereinheit 34 erzeugt daraufhin unter Berücksichtigung weiterer Größen wie des Vorliegens des Fehlersignals F_R und der Geschwindigkeit des Greifwerkzeugs an dieser Position das Freigabesignal 42 für das Formwerkzeug 12. Dieses setzt sich nach Ablauf einer systeminternen Totzeit Δt_W , die wiederum durch Signallaufzeiten und Schaltverzögerungen bedingt ist, zum Zeitpunkt t_4 in Bewegung. Zum Zeitpunkt t_5 passiert das Greifwerkzeug 16 die Position SR_1 und verläßt damit die Bewegungsbahn 22 des Formwerkzeugs 12. Dieses wiederum passiert zum Zeitpunkt t_6 die Position SW_1 und tritt damit in die Bewegungsbahn 28 des Greifwerkzeugs 16 ein. Da der Zeitpunkt t_6 nach dem Zeitpunkt t_5 liegt, tritt eine Kollision auch in diesem Fall nicht auf.

Kritisch sind die Bewegungsabläufe der beiden Werkzeuge jedoch bei Auftreten einer Störung, wobei der worst case dann anzunehmen ist, wenn das jeweilige Freigabesignal erzeugt wird und in etwa gleichzeitig der Antrieb desjenigen Werkzeugs, das den Weg freimachen muß, ausfällt. In diesem Fall wird nämlich einerseits das Freigabesignal erzeugt und andererseits hat das in seinem Antrieb gestörte Werkzeug noch eine maximale Wegstrecke zurückzulegen. Ein solcher Fall ist für das Einfahren des Greifwerkzeugs 16 in den Bereich zwischen den Formwerkzeugen 12 und 14 anhand des Verlaufs 66 dargestellt, der im Zeitpunkt t_{FR} die Kurve 62 mit einer geringeren Steigung als diese verläßt. Die geringere Steigung des Verlaufs 66 entspricht einer geringeren Geschwindigkeit des Formwerkzeugs 12, das sich bei einem Ausfall des Antriebs nur noch aufgrund seiner Trägheit weiter bewegt.

Wenn der Ausfall des Antriebs nicht bereits aufgrund des Fehlersignals F_W detektiert worden ist, so kann er von der Steuereinheit 34 mit Hilfe des Sensors 38 im Zeitpunkt t_7 festgestellt werden, in dem der Verlauf 66 das Toleranzband 64 verläßt. Zu diesem Zeitpunkt hat sich jedoch das Greifwerkzeug 16 aufgrund des Freigabesignals 44 bereits in Bewegung gesetzt. Im Zeitpunkt t_8 erreicht das Formwerkzeug 12 aufgrund seiner Trägheit die Position SW_1 , an der es die Bewegungsbahn 28 des Greifwerkzeugs verläßt.

Erfindungsgemäß erfolgt die Steuerung des Greifwerkzeugs 16 nun stets so, daß der Zeitpunkt t_8 um einen Toleranzwert Δt_1 vor dem Zeitpunkt t_3 liegt, zu dem das Greifwerkzeug 16 in die Bewegungsbahn 22 des Formwerkzeugs 12 eintritt. Dadurch ist selbst im ungünstigsten Fall einer Störung des Antriebs des Formwerkzeugs 12 eine Kollision der beiden Werkzeuge 12, 16 verhindert.

Eine vergleichbare Situation zeigen die Kurven 62 und 72

beim Ausfahren des Greifwerkzeugs 16. Der Verlauf 76 deutet eine Störung des Antriebs des Greifwerkzeugs 16 im Zeitpunkt t_{FW} an. Der Verlauf 76 weist eine geringere Steigung auf, die wiederum einer geringeren Geschwindigkeit entspricht. Im Zeitpunkt t_9 verläßt der Verlauf 76 das Toleranzband 74, was mit Hilfe des Sensors 36 von der Steuereinheit 34 detektiert werden kann. Da das Greifwerkzeug 16 aufgrund seiner Trägheit die Position SR_1 selbst in diesem angenommenen Fall im Zeitpunkt t_{10} passiert, ist eine Kollision verhindert, wenn der Zeitpunkt t_{10} um einen Toleranzwert ΔT_2 vor dem Zeitpunkt t_6 liegt, in dem das Formwerkzeug 12 die Position SW_1 passiert und somit in die Bewegungsbahn 28 des Greifwerkzeugs 16 eintritt.

Wie anhand der Verläufe 68 und 78 dargestellt ist, vergrößern sich die Toleranzwerte ΔT_1 und ΔT_2 in dem Fall, daß das jeweils gesteuerte Werkzeug nach der Detektion einer Störung gebremst und damit verzögert wird. Im Fall des Verlaufs 78 ist dabei sogar angenommen, daß das Greifwerkzeug 16 so stark verzögert wird, daß es die Position SR_1 gar nicht mehr erreicht und somit die Bewegungsbahn 22 des Formwerkzeugs 12 gar nicht mehr betritt. Die aufgrund des Notstops und der damit verbundenen Verzögerung gewonnene Zeit kann bei der Steuerung der Werkzeuge dahingehend ausgenutzt werden, die Toleranzwerte ΔT_1 und ΔT_2 zu verringern, um so die Zykluszeit der Maschine im Normalbetrieb zu verbessern.

Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird zumindest jeweils eines der nachfolgenden Zeitmaße bestimmt:

$$T_{WE_{max}} = t_8 - t_{FR}$$

oder

$$T_{RE} = t_3 - t_{FR}$$

bzw.

$$T_{RA_{max}} = t_{10} - t_{FW}$$

oder

$$T_{WA} = t_6 - t_{FW}$$

Das jeweils nicht bestimmte andere Zeitmaß ist bevorzugt als Parameter im Speicher der Steuereinheit 34 abgelegt. Besonders bevorzugt sind dies die Zeitmaße, die den Bewegungsablauf des Formwerkzeugs 12 repräsentieren. Anhand eines Vergleichs der Zeitmaße T_{RE} und $T_{WE_{max}}$ bzw. $T_{RA_{max}}$ und T_{WA} läßt sich die optimale Einstellung der Bewegungsabläufe überprüfen.

In bevorzugter Weise wird eine gemeinsame Steuereinheit 34 für beide bewegbare Bauteile 12, 16 vorgesehen, in der die Bewegungsabläufe beider Bauteile 12, 16 unmittelbar verglichen werden und im Falle einer Störung ein Störsignal erzeugt wird. Dann werden das Formwerkzeug 12 und das Greifwerkzeug 16 synchron gesteuert, und das Auftreten eines Fehlers kann sofort, d. h. mit minimaler Totzeit in ein Störsignal umgesetzt werden. Auf diese Weise werden also die Verläufe 66 und 78 unmittelbar miteinander verglichen bzw. der Verlauf 78 unmittelbar dem Verlauf 66 nachgeführt. Die Zeitdifferenz zwischen t_7 und t_{11} wird dann minimal.

Es darf an dieser Stelle erwähnt werden, daß im Falle einer Notbremsung z. B. des Greifwerkzeugs 16 auch eine externe Bremse, z. B. eine Reibungsbremse eingesetzt werden kann, um mit maximaler Verzögerung abzubremesen. Alternativ kann auch ein Stoßfänger eingesetzt werden, um im Falle eines Zusammenstoßes die Bewegungsenergie des

Greifwerkzeugs in Verformungsenergie umzusetzen und auf diese Weise Beschädigungen zu vermeiden. Der Stoßfänger kann z. B. ein Pralltopf sein, wie man ihn zum Einbau in Lenksäulen von Kraftfahrzeugen kennt.

In dem Flußdiagramm der Fig. 5 ist das erfindungsgemäße Verfahren in bezug auf das Einfahren des Greifwerkzeugs 16 in den Bereich zwischen den Formwerkzeugen 12 und 14 dargestellt. Im Anschluß an den Startschritt 100 wird im Schritt 102 das Zeitmaß $T_{WE_{max}}$ bestimmt. Hierzu wird beim Einrichten der Maschine zumindest einmal das Formwerkzeug 12 in Richtung des Pfeils 56 aufgeföhren, wobei zu dem Zeitpunkt, an dem das Formwerkzeug 12 die Position S_{FR} passiert, dessen Antrieb abgeschaltet wird. Dies kann einfach durch Betätigen des Notausschalters geschehen. Sodann wird die Zeit gemessen, bis das Formwerkzeug 12 die Position SW_1 erreicht. Im Schritt 104 wird das Zeitmaß $T_{WE_{max}}$ mit dem Zeitmaß T_{RE} verglichen, das gemäß Schritt 106 entweder als Parameter aus theoretischen Überlegungen oder als Meßwert in der Steuereinheit 34 abgelegt ist. Für den Fall, daß das Zeitmaß $T_{WE_{max}}$ größer ist als das Zeitmaß T_{RE} , werden gemäß Schritt 108 Maßnahmen ergriffen, um das Zeitmaß T_{RE} zu vergrößern. Dies kann dadurch geschehen, daß die Auslöseposition S_{FR} in Richtung der Endstellung SW_2 verschoben wird oder auch dadurch, daß die Totzeit Δt_R oder die zurückzulegende Wegstrecke des Greifwerkzeugs 16 verlängert wird.

Sobald das Zeitmaß T_{RE} aufgrund dieser Maßnahmen größer ist als das Zeitmaß $T_{WE_{max}}$, erfolgt in den Schritten 110 und 112 die Einstellung des Zeitmaßes T_{RE} dahingehend, daß dieses nur um einen vorbestimmten Toleranzwert ΔT_1 größer als das Zeitmaß $T_{WE_{max}}$ ist. Je kleiner der Toleranzwert ΔT_1 ist, desto geringer ist die Zykluszeit der Kunststoff-Spritzgießmaschine.

Gemäß Schritt 114 erfolgt im Anschluß an diese Einstellung der Bewegungsabläufe der normale Betrieb der Kunststoff-Spritzgießmaschine. Gemäß Schritt 118 wird die zuvor beschriebene Einstellung der Bewegungsabläufe optional mehrfach im Betrieb der Maschine wiederholt.

Das Flußdiagramm in Fig. 6 beschreibt den analogen Verfahrensablauf für den Fall, daß das Greifwerkzeug 16 aus dem Bereich zwischen den Formwerkzeugen 12 und 14 ausfährt.

Nach dem Startschritt 120 wird in Schritt 122 auf vergleichbare Weise wie zuvor beschrieben das Zeitmaß $T_{RA_{max}}$ bestimmt. In den Schritten 124 und 126 erfolgt sodann der Vergleich des bestimmten Zeitmaßes $T_{RA_{max}}$ mit dem Zeitmaß T_{WA} , welches wiederum entweder anhand theoretischer Berechnungen oder anhand einer Messung bestimmt wird. Gemäß Schritt 128 wird dann die Auslöseposition S_{FW} in Richtung der ausgefahrenen Endstellung SR_0 verschoben, wenn das Zeitmaß $T_{RA_{max}}$ größer ist als das Zeitmaß T_{WA} . Wie im vorhergehenden Fall können jedoch auch andere Parameter des Bewegungsablaufs verändert werden.

In den Schritten 130 und 132 wird anschließend das Zeitmaß T_{WA} durch Verschieben der Auslöseposition S_{FW} so eingestellt, daß dieses nur um den Toleranzwert ΔT_2 größer als das Zeitmaß $T_{RA_{max}}$ ist. Gemäß Schritt 134 erfolgt sodann der normale Betrieb der Kunststoff-Spritzgießmaschine, der gemäß Schritt 138 wiederum optional mit einer im Betrieb der Maschine stattfindenden Überprüfung der Einstellung verbunden werden kann.

Wie anhand der vorstehenden Beschreibung deutlich wird, läßt sich das erfindungsgemäße Verfahren gleichermaßen zur Steuerung des Greifwerkzeugs 16 wie auch des bewegbaren Formwerkzeugs 12 verwenden. Bei bekannten Kunststoff-Spritzgießmaschinen besitzt jedoch das Greifwerkzeug 16 in der Regel eine geringere Masse als das bewegbare Formwerkzeug 12. Dementsprechend ist das Greif-

werkzeug 16 schneller und flexibler zu steuern. Darüber hinaus liegt häufig der Fall vor, daß das Greifwerkzeug 16 als Bestandteil eines eigenen Handlinggerätes an einen vorgegebenen Bewegungsablauf eines bewegbaren Formwerkzeugs angepaßt werden muß. Dies hat zur Folge, daß die Steuerung häufig nur einen geringen oder keinen Einfluß auf die Zeitmaße nehmen kann, die den Bewegungsablauf des Formwerkzeugs 12 repräsentieren. Da jedoch die zeitliche Bedingung

$$T_{RE} > T_{WEmax}$$

zur Vermeidung einer Kollision stets erfüllt sein muß, kann eine Optimierung der Zykluszeit dann nur durch eine geeignete Steuerung des Greifwerkzeugs 16 erfolgen.

In Fig. 7 ist hierzu beispielhaft ein Geschwindigkeitsverlauf des Greifwerkzeugs 16 beim Einfahren zwischen die Formwerkzeuge 12 und 14 dargestellt. Zur Orientierung bezeichnet die Gerade 152 die Position SR_1 , an der das Greifwerkzeug 16 in den Bereich zwischen den Formwerkzeugen 12 und 14 einfährt. Mit 154 ist eine Hilfsgerade bezeichnet, deren negative Steigung ein Maß für die maximal mögliche Verzögerung des Greifwerkzeugs 16 ist. Der Geschwindigkeitsverlauf des Greifwerkzeugs 16 vor dem Einfahren in die Bewegungsbahn 22 des Formwerkzeugs 12 ist mit 156 bezeichnet. Der Verlauf 156 schneidet die Gerade 154 im Punkt 158, der auf der Abszisse der Position SL entspricht. Diese Stelle ist die letztmögliche, kollisionsfreie Anhaltelage für das Greifwerkzeug 16, die unabhängig von der Position und Bewegung des Formwerkzeugs 12 ist. Nach dem Passieren der Position SL kann eine Kollision der Werkzeuge nur durch eine Koordinierung ihrer beiden jeweiligen Bewegungsabläufe verhindert werden.

Der ungünstigste Fall beim Einfahren des Greifwerkzeugs 16 zwischen die Formwerkzeuge 12 und 14 ist nun derjenige, daß der Antrieb des sich öffnenden Formwerkzeugs 12 in dem Moment ausfällt, in dem das Greifwerkzeug 16 die letztmögliche kollisionsfreie Auslöseposition SL passiert. Bei einem früheren Ausfall des Antriebs des Formwerkzeugs 12 kann das Greifwerkzeug 16 nämlich wie eben dargelegt vor dem Eintritt in die Bewegungsbahn des Formwerkzeugs 12 angehalten werden. Bei einem späteren Ausfall des Antriebs des Formwerkzeugs 12 ist dies zwar nicht mehr möglich, jedoch ist das Formwerkzeug 12 aufgrund seiner eigenen Bewegung bereits weiter aus der Bewegungsbahn des Greifwerkzeugs 16 als in dem genannten ungünstigsten Fall.

Entsprechend dem hier dargestellten, bevorzugten Geschwindigkeitsverlauf für die Steuerung des Greifwerkzeugs 16 wird der Bereich zwischen der letztmöglichen kollisionsfreien Auslöseposition SL und der Position SR_1 von dem Greifwerkzeug 16 mit maximal möglicher Beschleunigung durchfahren. Dies hat zur Folge, daß die Verweildauer des Greifwerkzeugs 16 in diesem Bereich verringert wird. Der weitere Verlauf des Greifwerkzeugs 16 nach dem Passieren der Position SR_1 spielt für das erfindungsgemäße Verfahren keine Rolle und kann dementsprechend unterschiedlich gestaltet sein. Er hängt insbesondere von der Greifposition SR_2 ab, an der das Greifwerkzeug 16 zur Entnahme eines hergestellten Werkstücks 18 zum Stillstand gebracht werden muß. Verschiedene mögliche Verläufe sind mit den Bezugsziffern 160, 162, 164 und 166 bezeichnet.

Durch die Minimierung der Verweildauer des Greifwerkzeugs 16 in dem Bereich zwischen der letztmöglichen Anhaltelageposition SL und der Position SR_1 läßt sich die Zykluszeit der Spritzgießmaschine im Rahmen der vorliegenden Erfindung minimieren, ohne daß hierdurch die Gefahr einer Kollision im Fall einer Störung gegeben ist. Ebenso trägt die

Aufrechterhaltung der Bewegung desjenigen Werkzeugs, das die Bewegungsbahn freiräumen muß, im Fall einer Störung zur Minimierung der Zykluszeit bei. Gleiches gilt für die Verzögerung des jeweils einfahrenden Werkzeugs im Fall einer Störung.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern eines Bewegungsablaufs eines ersten bewegbaren Bauteils (12; 16) einer Kunststoff-Spritzgießmaschine (10), dessen Bewegungsbahn (22; 28) von der Bewegungsbahn (28; 22) eines zweiten bewegbaren Bauteils (16; 12) der Kunststoff-Spritzgießmaschine (10) zumindest teilweise überlappt wird, wobei die Bewegung des ersten bewegbaren Bauteils (12; 16) in Abhängigkeit eines einen Bewegungszustand des zweiten bewegbaren Bauteils (16; 12) repräsentierenden Freigabesignals (42; 44) gestartet wird, wobei zumindest ein Zeitmaß bestimmt wird, dadurch gekennzeichnet, daß ein erstes Zeitmaß (T_{WA} ; T_{RE}) und ein zweites Zeitmaß (T_{RAmax} ; T_{WEmax}) bestimmt und miteinander verglichen werden (124, 130; 104, 110), wobei das erste Zeitmaß (T_{WA} ; T_{RE}) die Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt (t_{FW} ; t_{FR}) der Erzeugung des Freigabesignals und dem Zeitpunkt (t_6 ; t_3) angibt, zu dem das erste bewegbare Bauteil (12; 16) die Bewegungsbahn (28; 22) des zweiten bewegbaren Bauteils (16; 12) erreicht, und wobei das zweite Zeitmaß (T_{RAmax} ; T_{WEmax}) die Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt der Erzeugung (t_{FW} ; t_{FR}) des Freigabesignals und dem Zeitpunkt (t_{10} ; t_8) angibt, zu dem das zweite bewegbare Bauteil (16; 12) die Bewegungsbahn (22; 28) des ersten bewegbaren Bauteils (12; 16) verläßt, und daß der Bewegungsablauf (62; 72) des ersten bewegbaren Bauteils (12; 16) in Abhängigkeit von dem Vergleich der beiden Zeitmaße (T_{WA} ; T_{RAmax} ; T_{RE} ; T_{WEmax}) so gesteuert wird, daß die Differenz des zweiten Zeitmaßes (T_{RAmax} ; T_{WEmax}) und des ersten Zeitmaßes (T_{WA} ; T_{RE}) kleiner als ein vorgegebener, minimaler Toleranzwert (ΔT_2 ; ΔT_1) ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eines der bewegbaren Bauteile (12, 16) ein Formwerkzeug (12) ist, das relativ zu einem weiteren Formwerkzeug (14) eine Öffnungs- und Schließbewegung (56, 57) ausführen kann, und daß das andere der bewegbaren Bauteile (12, 16) ein Greifwerkzeug (16) ist, das zwischen die Formwerkzeuge (12, 14) ein- und ausfahrbar (55, 58) ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eines der Zeitmaße (T_{WA} , T_{RAmax} ; T_{RE} ; T_{WEmax}) mittels eines Sensors (36, 38) bestimmt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß ein anderes der Zeitmaße (T_{WA} ; T_{WEmax}) als Parameter in einer Steuereinheit (34) der Kunststoff-Spritzgießmaschine (10) abgelegt ist.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß das zumindest eine Zeitmaß (T_{RAmax} ; T_{RE}) für die Bewegung des Greifwerkzeugs (16) repräsentativ ist.
6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das andere Zeitmaß (T_{WA} ; T_{WEmax}) für die Bewegung des Formwerkzeugs (12) repräsentativ ist.
7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eines der Zeitmaße (T_{RAmax} ; T_{RE}) anhand einer Veränderung einer Beschleunigung, einer Wegstrecke und/oder einer Totzeit (Δt_d) zumindest eines bewegbaren Bauteils (12,

16) eingestellt wird (108, 112).

8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Freigabesignal (42; 44) erzeugt wird, wenn das zweite bewegbare Bauteil (16; 12) eine vorbestimmte Auslöseposition (S_{FW} ; S_{FR}) erreicht und daß die Auslöseposition in Abhängigkeit vom ersten (T_{WA} ; T_{RE}) und zweiten (T_{RAmax} ; T_{WEmax}) Zeitmaß eingestellt wird.

9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Zeitmaß (T_{RAmax} ; T_{WEmax}) anhand einer Simulation bestimmt wird (122; 102), bei der ein Ausfall eines Antriebs des zweiten bewegbaren Bauteils (16; 12) im Zeitpunkt (t_{FW} ; t_{FR}) der Erzeugung des Freigabesignals (42; 44) simuliert wird (76; 66).

10. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß ein Fehlersignal (F_R ; F_W) erzeugt wird, wenn der Antrieb (45; 43) des zweiten bewegbaren Bauteils (16; 12) ausfällt und daß bei Vorliegen des Fehlersignals (F_R ; F_W) die Bewegung des ersten bewegbaren Bauteils (12; 16) gestoppt oder unterbunden wird (78; 68).

11. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß ein Fehlersignal (F_R ; F_W) erzeugt wird, wenn ein Bewegungsablauf (76; 66) des zweiten bewegbaren Bauteils (16; 12) ein vorgegebenes Toleranzband (74; 64) verläßt und daß bei Vorliegen des Fehlersignals (F_R ; F_W) die Bewegung des ersten bewegbaren Bauteils (12; 16) gestoppt oder unterbunden wird (78; 68).

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Toleranzband (74; 64) vor einem Betrieb der Spritzgießmaschine (10) unter Produktionsbedingungen durch mehrfaches Durchfahren des Bewegungsablaufs empirisch bestimmt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Toleranzband (74; 64) unter Produktionsbedingungen in vorbestimmten Zeitabständen nachgemessen und entsprechend nachjustiert wird.

14. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestimmung (102; 122) des zumindest einen Zeitmaßes (T_{WA} ; T_{RAmax} ; T_{RE} ; T_{WEmax}) im Verlauf des Verfahrens wiederholt durchgeführt wird (118; 138).

15. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß eine Versorgungsspannung (U_V) für den Antrieb des zweiten bewegbaren Bauteils (16; 12) mit einem Speichermittel (48; 46) so gepuffert wird, daß der Antrieb des zweiten bewegbaren Bauteils (16; 12) auch bei Ausfall der Versorgungsspannung (U_V) so lange aufrechterhalten wird, bis das zweite bewegbare Bauteil (16; 12) die Bewegungsbahn (22; 28) des ersten bewegbaren Bauteils (12; 16) verlassen hat.

16. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das erste bewegbare Bauteil (12; 16) im Fall einer Störung im Bewegungsablauf des zweiten bewegbaren Bauteils (16; 12) mit maximaler Verzögerung gebremst wird.

17. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß das erste bewegbare Bauteil (12; 16) im störungsfreien Arbeitsbetrieb mit einem ersten Bremsmittel (43; 45) gebremst wird und daß es im Fall einer Störung mit Hilfe eines zusätzlichen Bremsmittels (53; 51) mit einer gegenüber dem Arbeitsbetrieb stärkeren Verzögerung abgebremst wird.

18. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche

che 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß das erste bewegbare Bauteil (12; 16) nach Erhalt des Freigabesignals (42; 44) zunächst mit einer geringeren Beschleunigung beschleunigt wird und nach dem Passieren eines letztmöglichen kollisionsfreien Anhaltepunktes (SL) zumindest bis zum Eintritt in die Bewegungsbahn des zweiten bewegbaren Bauteils (16; 12) mit maximaler Beschleunigung beschleunigt wird.

19. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewegungsbahn (22; 28) eines der bewegbaren Bauteile (12; 16) in etwa vertikal verläuft, wobei dieses bewegbare Bauteil (12; 16) von oben in die Bewegungsbahn (22; 28) des anderen Bauteils (16; 12) einfährt, und daß dieses Bauteil (12; 16) im Fall einer Störung mit einem Haltemittel gegen ein Herabfallen gesichert wird.

20. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß eine gemeinsame Steuereinheit (34) für beide bewegbare Bauteile (12, 16) vorgesehen ist, in der die Bewegungsabläufe beider Bauteile (12, 16) unmittelbar verglichen werden und im Falle einer Störung ein Störsignal erzeugt wird.

21. Kunststoff-Spritzgießmaschine mit einem ersten und einem zweiten bewegbaren Bauteil (12, 16), deren Bewegungsbahnen (22, 28) sich zumindest teilweise überlappen, mit einer Steuereinheit (34) zum Erzeugen eines Freigabesignals (42, 44) für die Bewegung des ersten bewegbaren Bauteils (12, 16) in Abhängigkeit eines Bewegungszustandes des zweiten bewegbaren Bauteils (16, 12) und mit Mitteln (34, 36, 38) zum Bestimmen wenigstens eines Zeitmaßes (T_{WA} ; T_{RAmax} ; T_{RE} ; T_{WEmax}), dadurch gekennzeichnet, daß ein erstes Zeitmaß (T_{WA} ; T_{RE}) eine Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt (t_{FW} ; t_{FR}) der Erzeugung des Freigabesignals und dem Zeitpunkt (t_6 ; t_3) angibt, zu dem das erste bewegbare Bauteil (12; 16) die Bewegungsbahn (28; 22) des zweiten bewegbaren Bauteils (16; 12) erreicht, und daß ein zweites Zeitmaß (T_{RAmax} ; T_{WEmax}) eine Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt (t_{FW} ; t_{FR}) der Erzeugung des Freigabesignals und dem Zeitpunkt (t_{10} ; t_8) angibt, zu dem das zweite bewegbare Bauteil (16; 12) die Bewegungsbahn (22; 28) des ersten bewegbaren Bauteils (12; 16) verläßt, und daß ferner die Steuereinheit (34) Mittel aufweist, um die Differenz des ersten Zeitmaßes (T_{WA} ; T_{RE}) und des zweiten Zeitmaßes (T_{RAmax} ; T_{WEmax}) zu bilden und in Abhängigkeit von der Differenz das Freigabesignal (42; 44) zu erzeugen.

22. Maschine nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß zum Bremsen im Falle einer Störung eine externe Bremse verwendet wird.

23. Maschine nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die externe Bremse eine Reibungsbremse ist.

24. Maschine nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die externe Bremse ein Stoßfänger ist.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

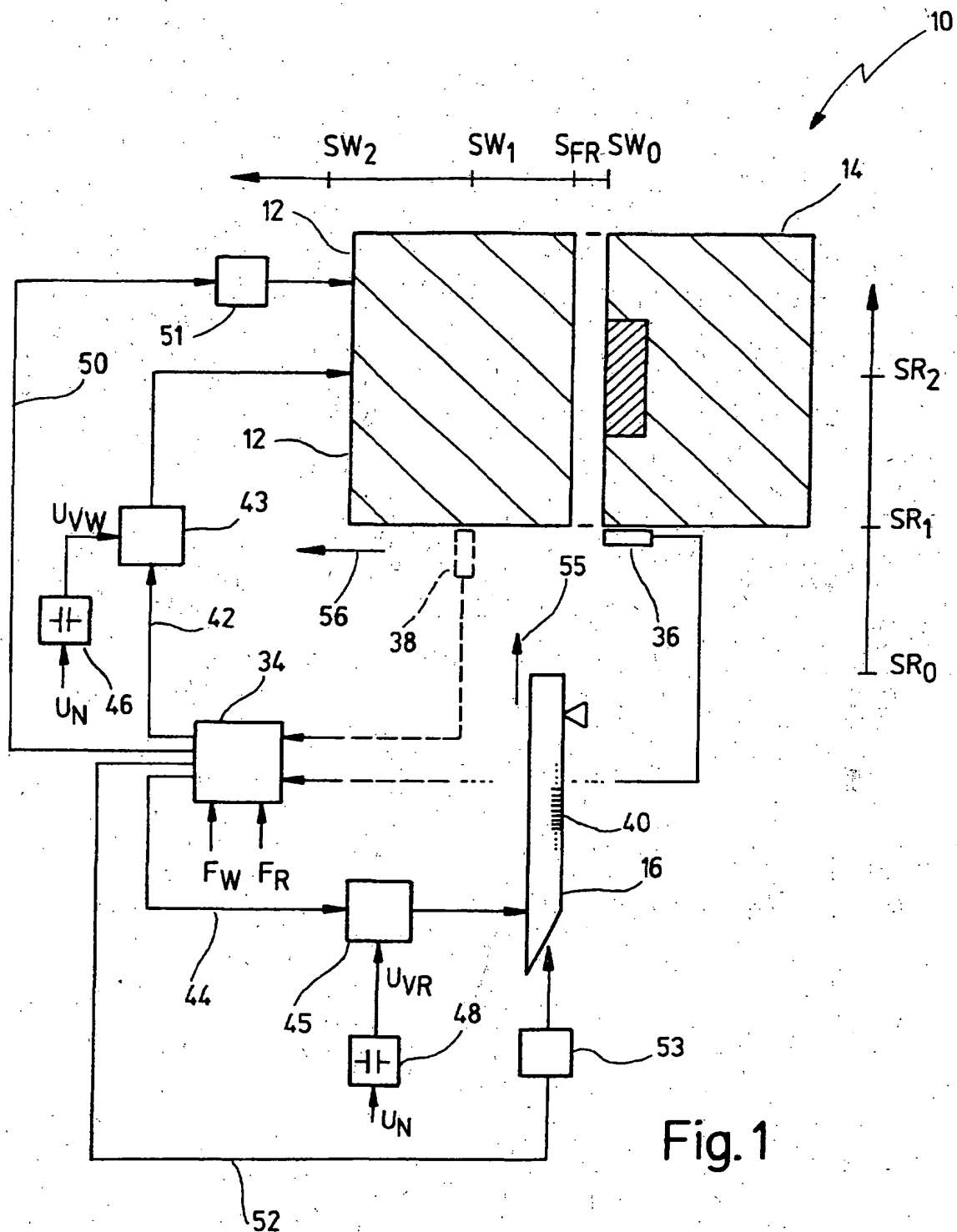


Fig. 1

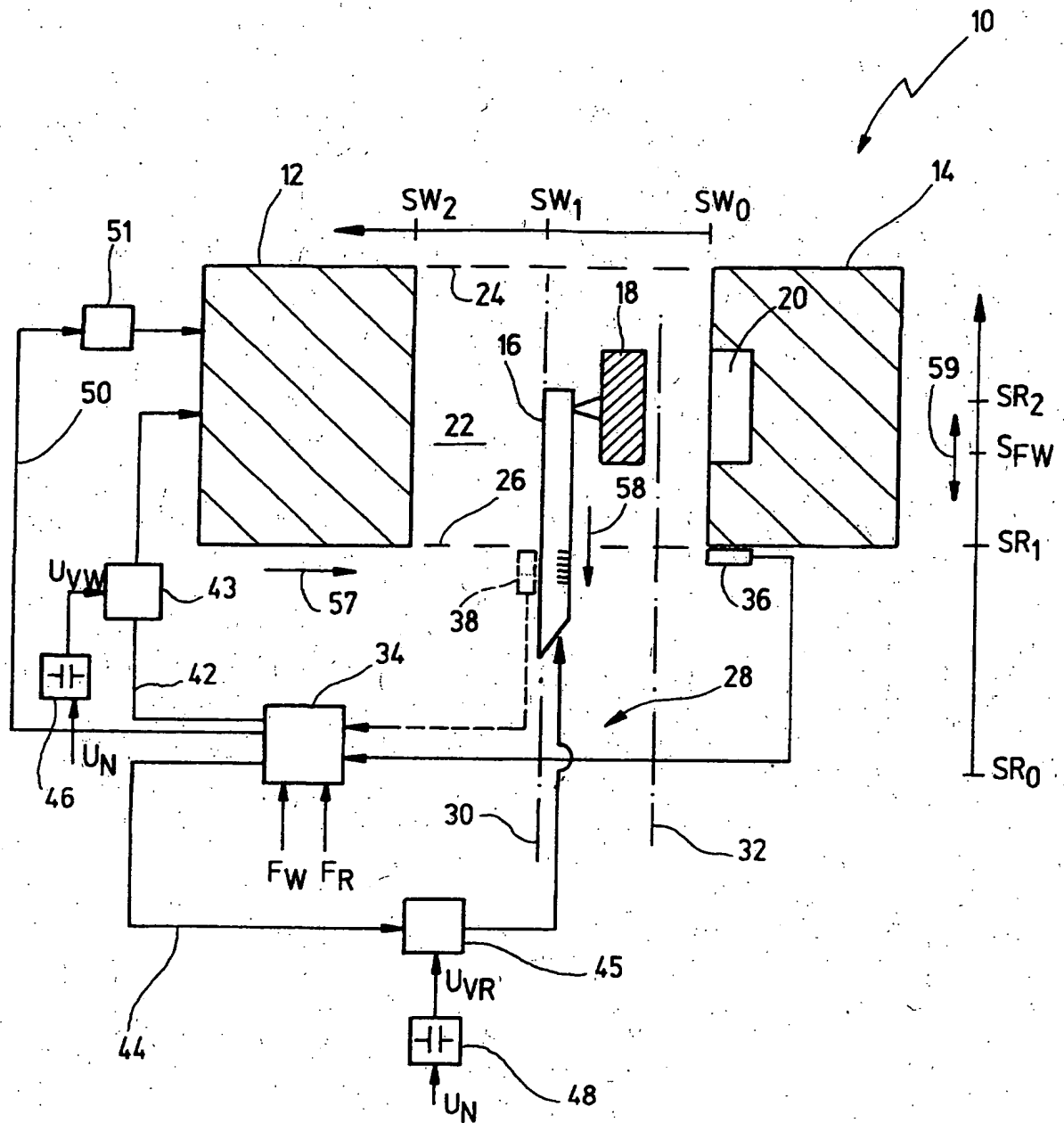
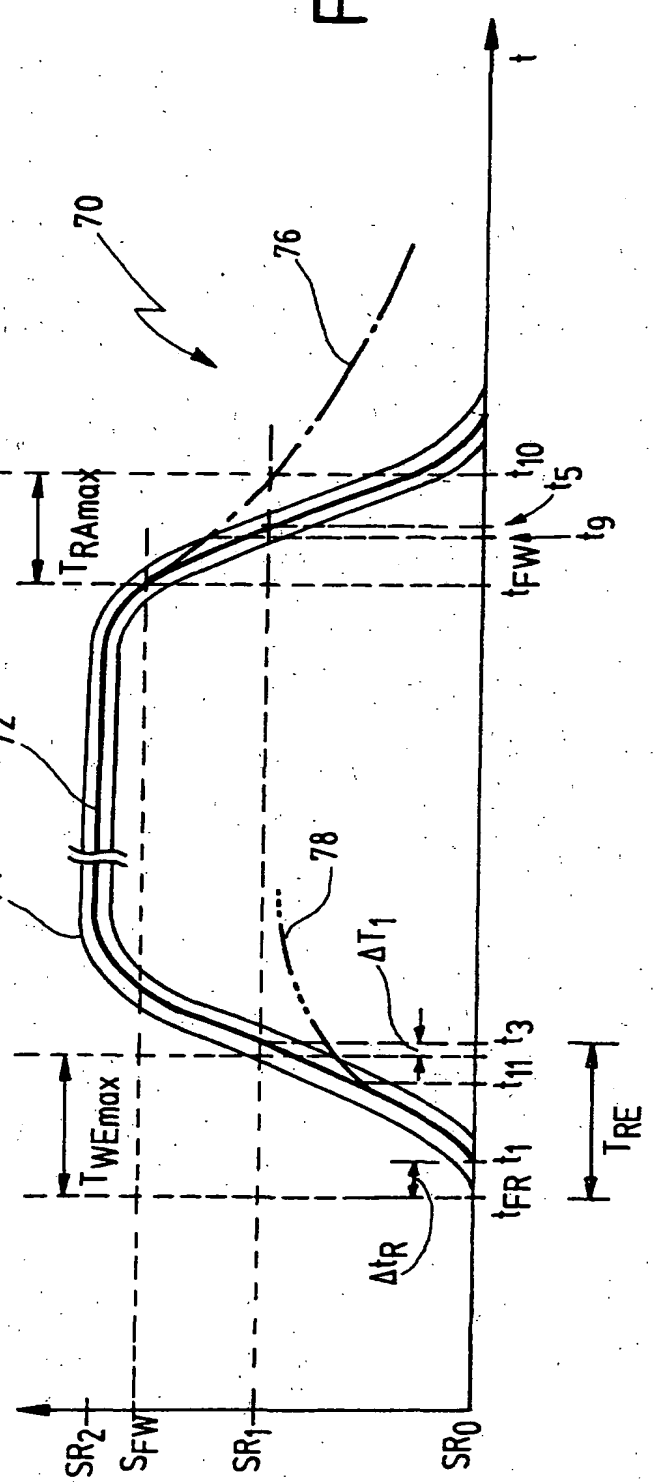
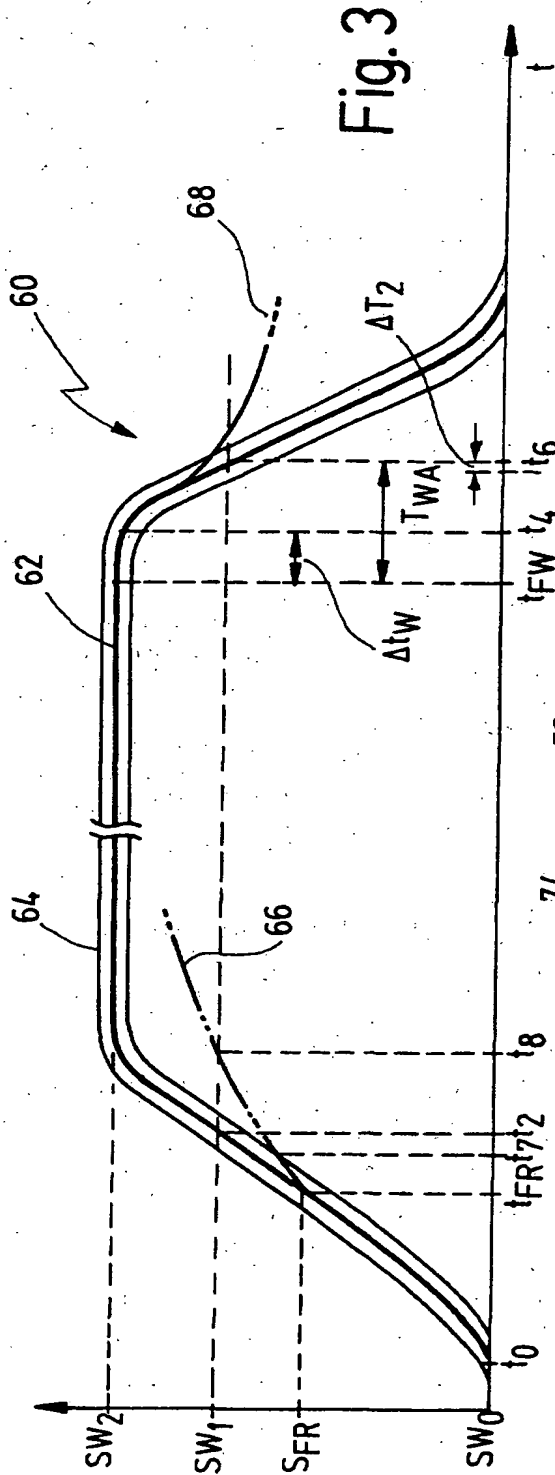


Fig. 2



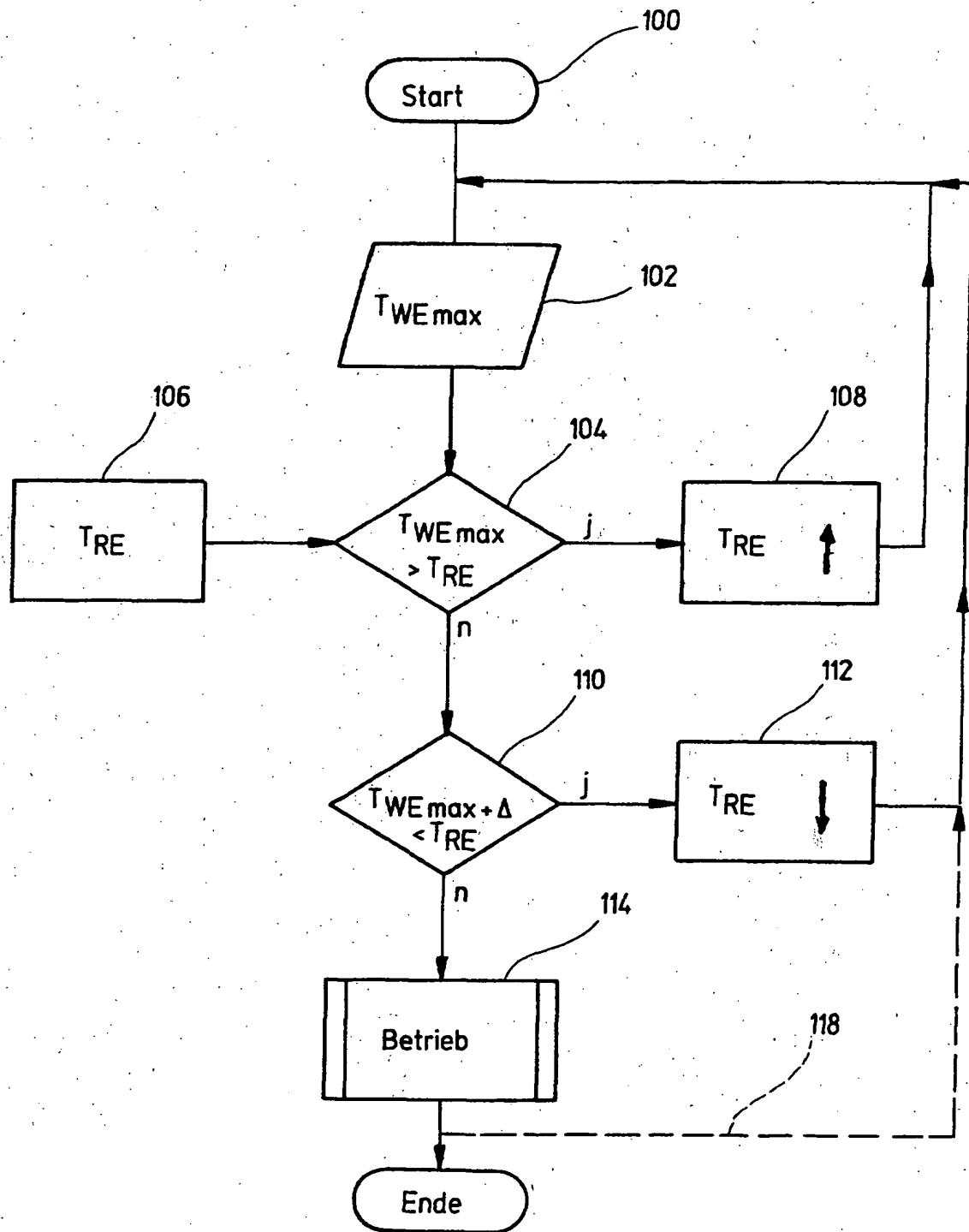


Fig. 5

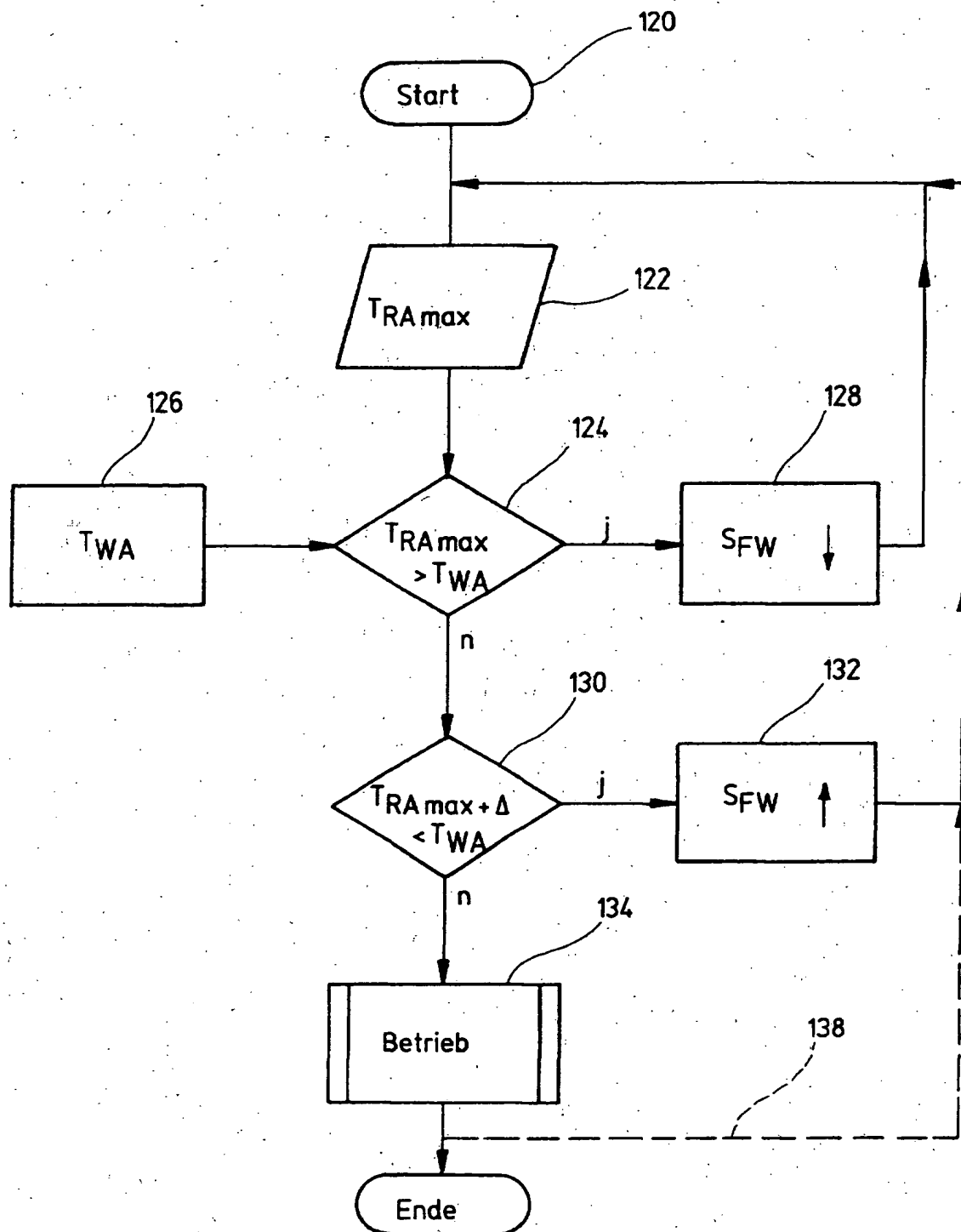


Fig. 6

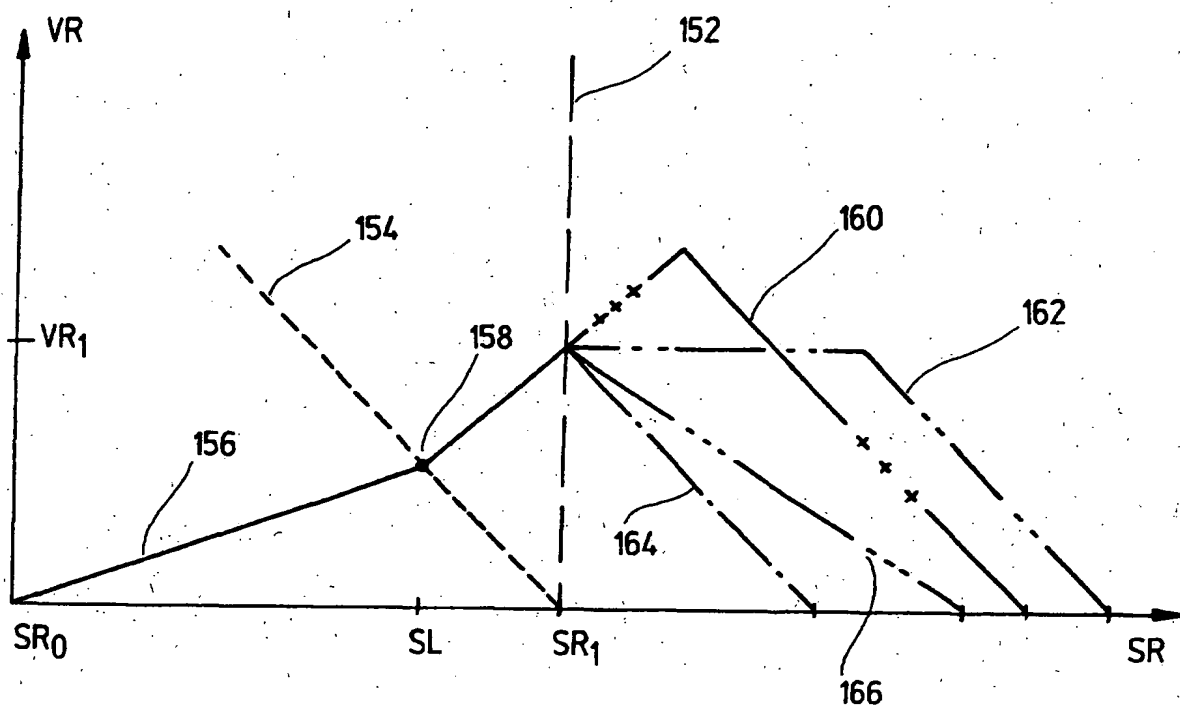


Fig. 7

(12) **United States Patent**
Herbst

(10) Patent No.: US 6,322,733 B1
(45) Date of Patent: Nov. 27, 2001

- (54) **METHOD AND APPARATUS FOR CONTROLLING A MOTIONAL SEQUENCE OF A MOVABLE COMPONENT OF A PLASTIC MATERIAL INJECTION MOLDING MACHINE**

- | | | |
|--------------|--------|--------|
| 0 307 091 A2 | 3/1989 | (EP) . |
| 0 688 655 A2 | 4/1995 | (EP) . |
| 62099127 | 5/1987 | (JP) . |
| 08244076 | 9/1996 | (JP) . |
| 10119097 | 5/1998 | (JP) . |

* cited by examiner

Primary Examiner—Jill L. Heitbrink

(74) Attorney, Agent, or Firm—Knobbe Martens Olson & Bear, LLP

- (75) Inventor: **Richard Herbst, Eching (DE)**
- (73) Assignee: **Hekuma Herbst Maschinenbau GmbH (DE)**
- (*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 0 days.

(57) **ABSTRACT**

A method and an apparatus are disclosed for controlling a motional sequence of a first movable component of a plastic material injection molding machine having a first trajectory spatially overlapping at least partially a second trajectory of a second movable component of the plastic material injection molding machine. Motion of the first movable component is initiated depending on an enabling signal indicative for a motional state of the second movable component. The method comprises the steps of:

- determining a first period of time ($T_{WA}; T_{RE}$) between a first moment in time ($t_{FW}; t_{FR}$) when the enabling signal is generated and a second moment in time ($t_6; t_3$) when the first movable component enters the second trajectory;
- determining a second period of time ($T_{RAMax}; T_{WEmax}$) between the first moment in time ($t_{FW}; t_{FR}$) and a third moment in time ($t_{10}; t_8$) when the second movable component leaves the first trajectory;
- comparing the first period of time ($T_{WA}; T_{RE}$) with the second period of time ($T_{RAMax}; T_{WEmax}$) and generating a difference signal therebetween; and
- controlling motion of the first movable component as a function of this comparison of the first period of time ($T_{WA}; T_{RE}$) with the second period of time ($T_{RAMax}; T_{WEmax}$) such that the difference signal is smaller than a predetermined minimum tolerance value ($T_7; T_1$).

- (21) Appl. No.: **09/419,333**
- (22) Filed: **Oct. 15, 1999**
- (30) **Foreign Application Priority Data**
- Oct. 16, 1998 (DE) 198 47 740
- (51) **Int. Cl.⁷** **B29C 45/42**
- (52) **U.S. Cl.** **264/40.5; 264/334; 425/139;**
425/150; 425/444; 700/255
- (58) **Field of Search** 264/40.1, 40.5,
264/328.1, 334; 425/139, 150, 165, 534,
556, 589, 444, 436 RM; 901/6; 700/262,
112, 178, 188, 255; 414/225

(56) **References Cited**

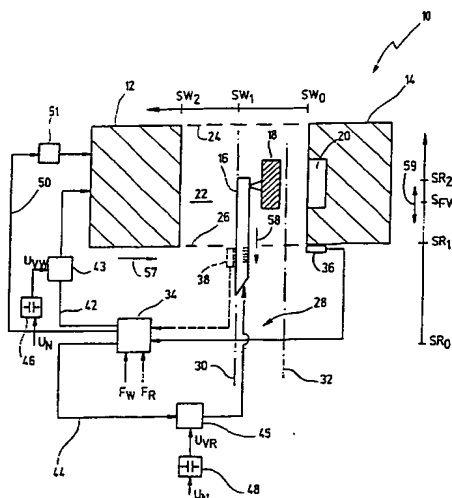
U.S. PATENT DOCUMENTS

- | | | | | |
|-----------|---|---------|---------------|---------|
| 3,947,208 | * | 3/1976 | Broderick . | |
| 4,204,824 | * | 5/1980 | Paradis | 425/444 |
| 5,250,239 | | 10/1993 | Herbst . | |
| 6,062,843 | * | 5/2000 | Yamaura | 425/136 |

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

- 41 21 841 A1 1/1992 (DE) .
41 10 948 A1 10/1992 (DE) .
197 16 777
A1 10/1998 (DE) .

24 Claims, 6 Drawing Sheets



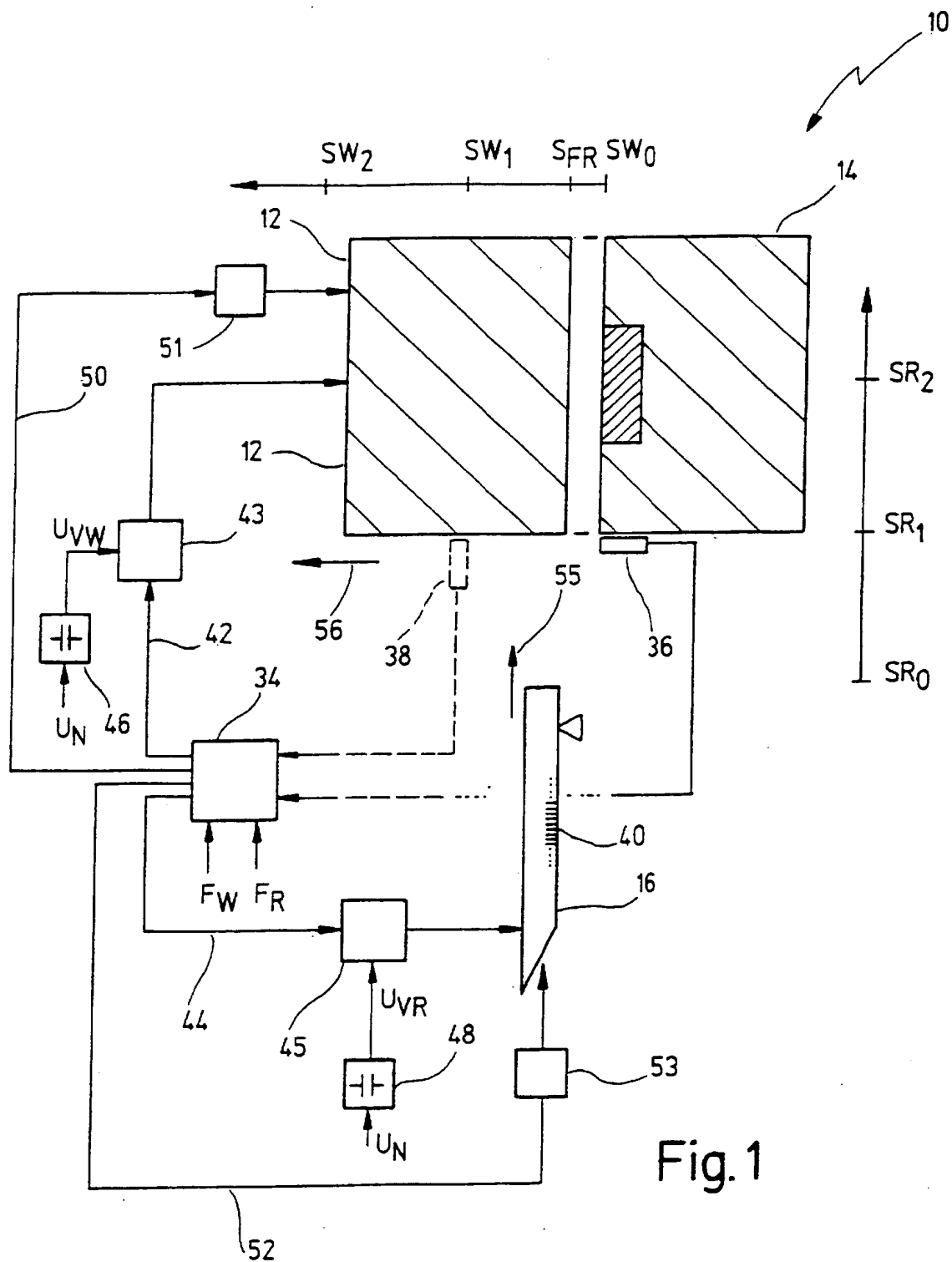


Fig. 1

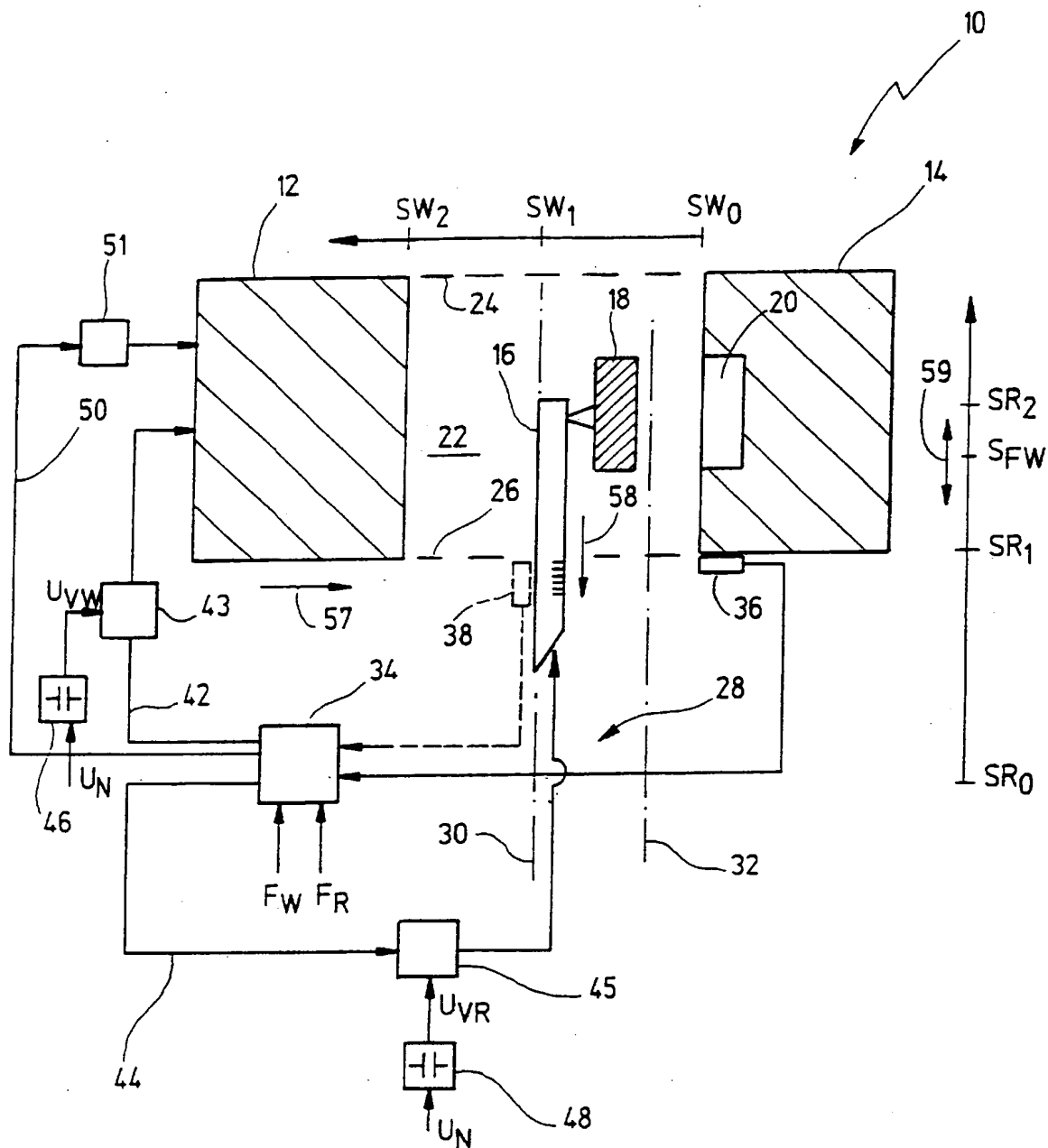
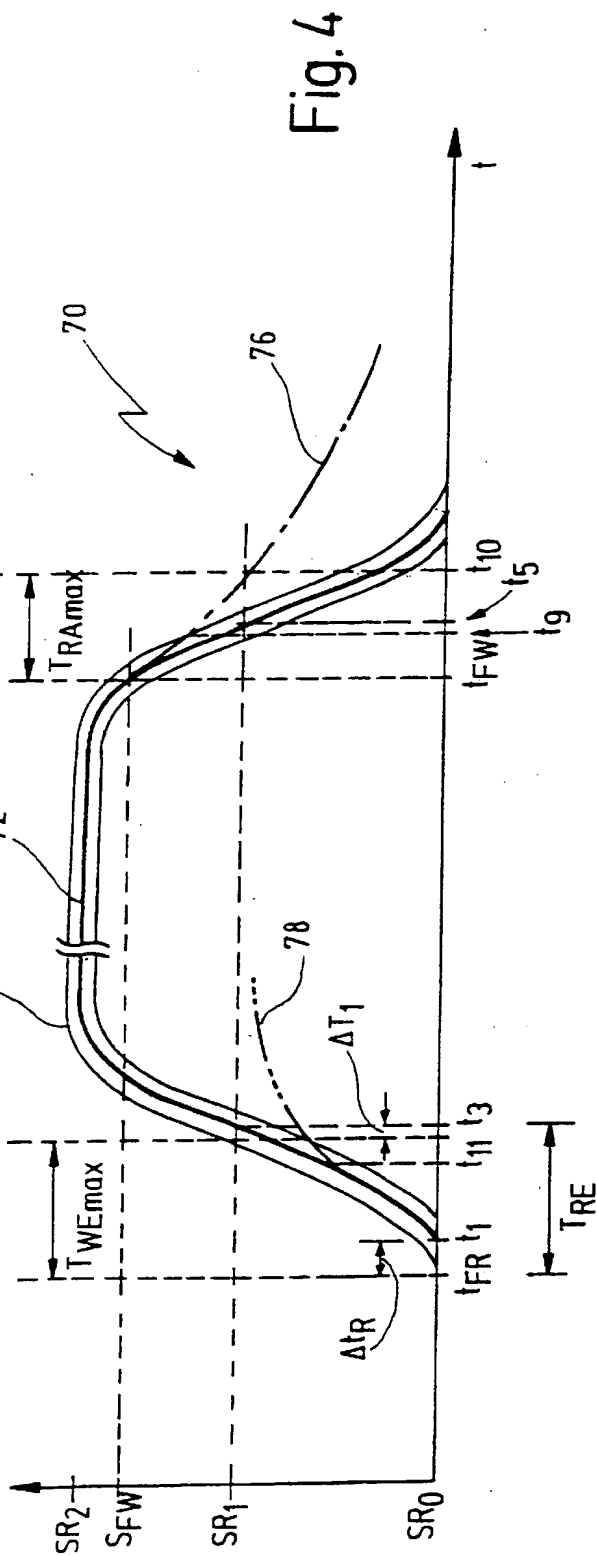
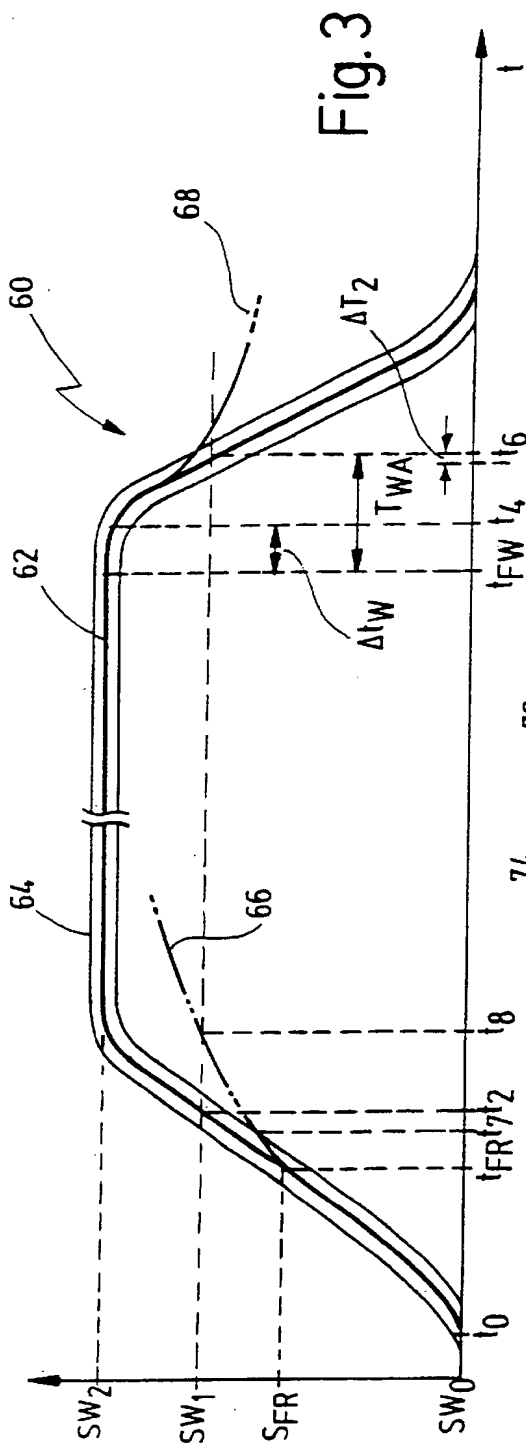


Fig. 2



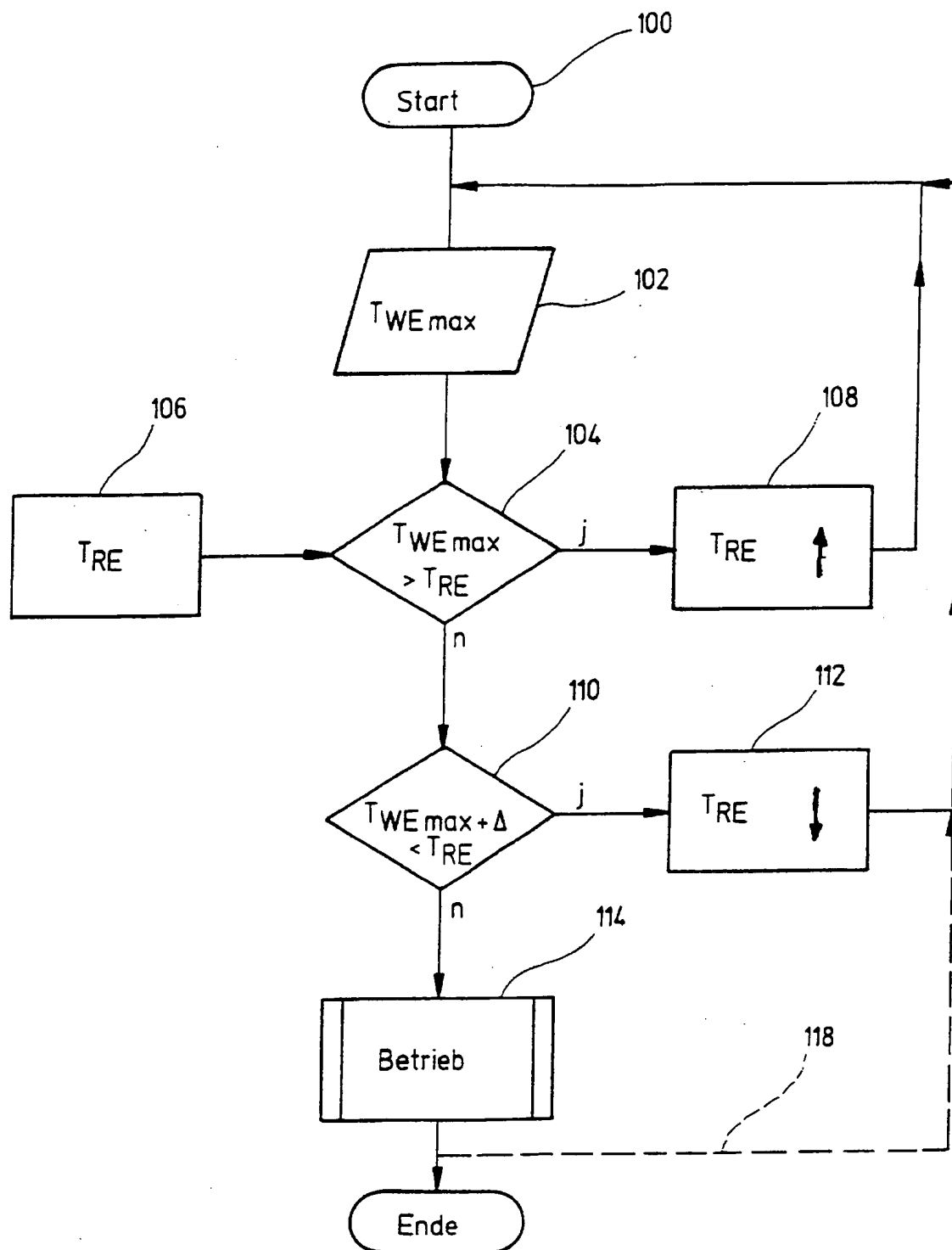


Fig. 5

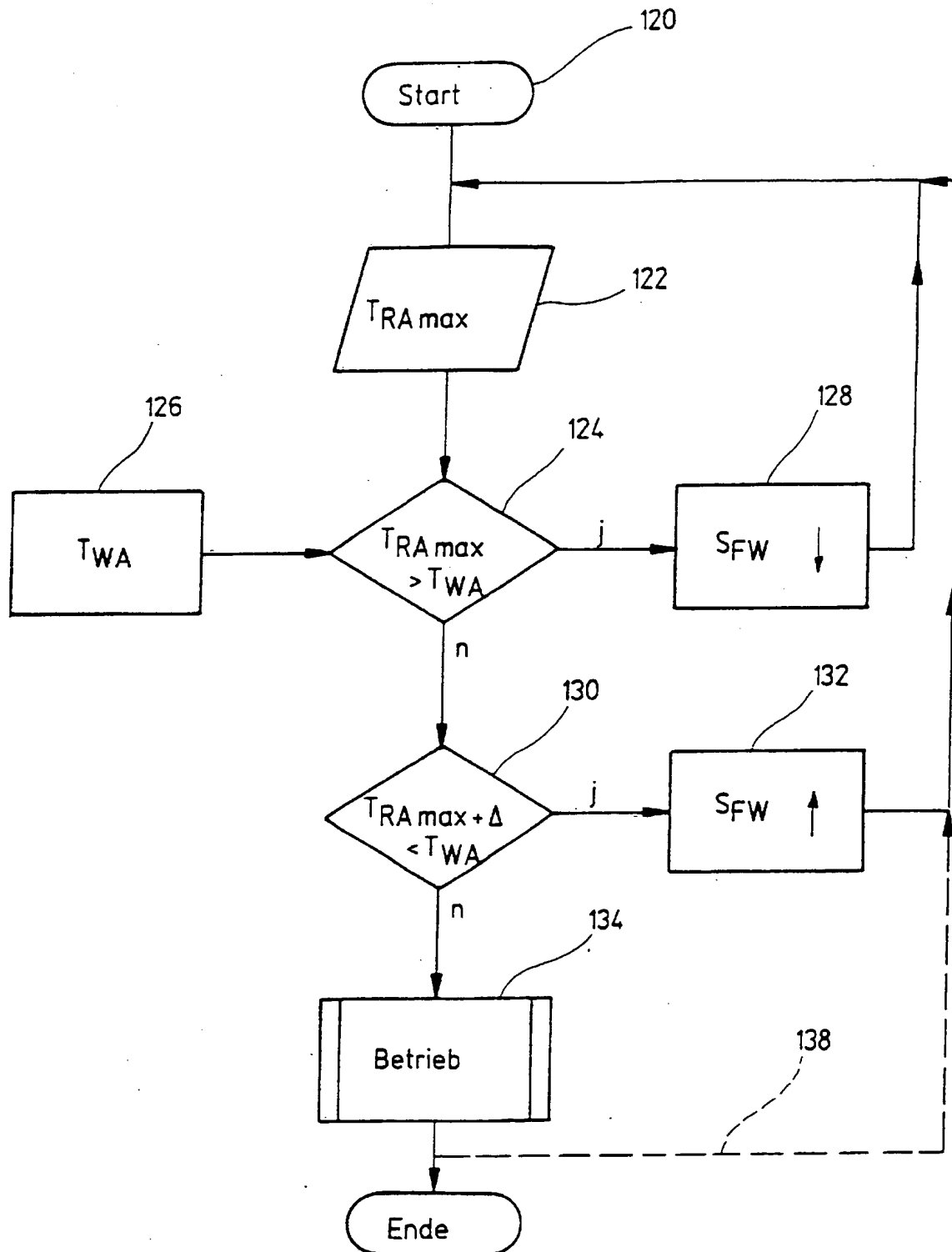


Fig. 6

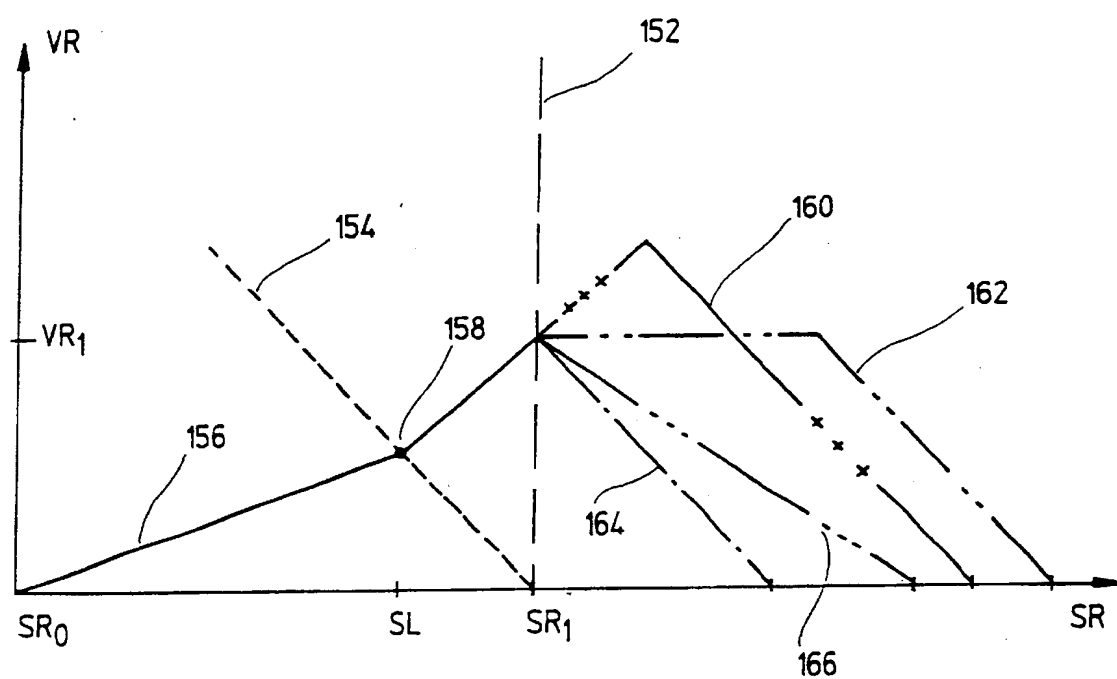


Fig. 7

1

METHOD AND APPARATUS FOR CONTROLLING A MOTIONAL SEQUENCE OF A MOVABLE COMPONENT OF A PLASTIC MATERIAL INJECTION MOLDING MACHINE

FIELD OF THE INVENTION

The present invention is related to the field of plastic material injection molding. More specifically, the invention is related to methods and apparatuses for controlling the motional sequence of movable components within a plastic material injection molding machine, for example of a mold portion or of a gripper.

Still more specifically, the invention is related to a method for controlling a motional sequence of a first movable component of a plastic material injection molding machine having a first trajectory spatially overlapping at least partially a second trajectory of a second movable component of the plastic material injection molding machine, wherein motion of the first movable component is initiated depending on an enabling signal indicative for a motional state of the second movable component.

Likewise, the invention is directed to a plastic material injection molding machine comprising a first and a second movable component, the components having a first and a second trajectory, respectively, overlapping each other at least partially, a control unit for generating an enabling signal for the motion of the first movable component depending on the motional state of the second component.

BACKGROUND OF THE INVENTION

A method and an apparatus of the kind mentioned at the outset are disclosed in U.S. patent specification 5,250,239 of the same applicant, the contents of which is incorporated herein by way of reference.

From this prior art it is well known to provide a method and an apparatus for controlling the movements or displacements of two components of a plastic material injection molding machine which may be displaced relative to each other. The components are in particular a mold or a mold portion and/or a gripper or, speaking in more general terms, a handling system. Conventional molds may comprise one stationary mold portion and one movable mold portion, however, within so-called stack molds, there are three distinct mold portions, namely, a center platen and two further mold portions located on opposite sides of the center platen. Irrespective of the type of mold the mold portions execute a closing and an opening movement for allowing an injection cycle to take place in the closed state of the mold whereas the injected and finished plastic material articles may be unloaded from the load in its open state.

For unloading finished plastic material articles or for inserting items into the mold cavities prior to injecting plastic material, it is known in the art to use handling systems or robots having a gripper. The gripper enters into the gap between the open mold portions and is retracted therefrom prior to the closing of the mold. In many cases such handling systems are autonomous installations having autonomous control systems which are coupled to the control of the plastic material injection molding machine. However, in some instances the handling system or the gripper is a structural component of the plastic material injection molding machine itself.

For the sake of a simplified description of the invention, the subsequent description starts from the latter assumption without, however, thereby limiting the scope of the invention.

2

Within the art of plastic material injection molding machines one has the general problem that the gripper must enter between the mold portions in their open state and must be retracted therefrom for unloading a finished article and/or for inserting a specific item into the still empty mold cavity. This means that the trajectories of the movable gripper on the one hand side and the movable mold portion on the other hand side spatially overlap at least partially. As a consequence, the movement or displacement of these components must be precisely synchronized in order to avoid collisions therebetween.

The safest option to achieve this object would be to initiate the movement of one of the components only at a moment in time when the respective other component has left the trajectory of the first movable component. However, this has the disadvantage that the cycle time of the injection molding machine becomes very long due to the necessary delay times. The term "cycle time" is to be understood as the period of time needed by the plastic material injection molding machine for a complete loading, injecting and unloading cycle until the next cycle may be initiated.

U.S. patent specification 5,250,239 mentioned above suggests to initiate the movement of the first component already at a moment in time when the second movable component has not yet entirely left the trajectory of the first component. For that purpose both components are provided with two sensors each, one of which measuring the position and, by determining a period of time, also the velocity of the component at that particular position. The other sensor is connected to a control unit generating an enabling signal for the movement of the first component when the second component has passed the position of its second sensor with a predetermined velocity.

By measuring the period of time needed by the second component for moving through the distance between the two sensors associated to it, one has a guarantee that the enabling signal is generated only when the second component moves with a velocity corresponding to normal operation at a predetermined position. Due to the inertial masses of the components involved one may assume in this case that even when a failure occurs, the second component will at least travel through such a distance that no collision occurs.

Optimizing the cycle time in such a plastic material injection molding machine while concurrently avoiding collisions even in the case of an operational failure highly depends on the position of the second sensor and, accordingly, from the moment in time when the enabling signal is generated. If the second sensor is located such that the enabling signal for the first component is generated too early, a collision due to a failure of the normal operation may not be entirely excluded.

The worst case that may occur insofar would be when the drive for the second component fails at a moment in time in which the enabling signal for the first component is generated. In that case the first component will be started while the second component may not leave the trajectory of the first component with the speed that it would assume under normal operational conditions.

If, on the other hand side, the trigger point for the enabling signal is set too late, the cycle time for the injection molding machine is unnecessarily extended.

U.S. patent specification 5,250,239 is silent about the possibilities or methods for determining and setting an optimum trigger point for generating an enabling signal.

German patent specification 41 10 948 discloses a method for unloading injected plastic material articles from an

injection molding machine. According to that method the movement of a first component shall be initiated at the earliest possible moment in time for increasing the cycle frequency and, hence, shorten the cycle time of the injection molding machine. For doing so, the motional sequences of the two components are each compared with a displacement vs. time function stored in the control unit in order to readjust the motional sequence in case of an unallowed deviation from the predetermined motional sequence. An emergency shutdown is also provided. However, in view of the above-mentioned optimization, this prior art only discloses in general terms that a collision shall be avoided by stopping movements in case of an emergency. The specification is silent about how to determine the trigger point for generating the enabling signal in an optimized way.

It is, therefore, an object underlying the present invention to provide a method and an apparatus of the kind specified at the outset, making a plastic material injection molding machine cycle time as short as possible on the one hand side while, on the other hand side, definitely avoiding a collision of the moved components even under worst case assumptions. It is, further, an object of the invention to provide an appropriate plastic material injection molding machine.

SUMMARY OF THE INVENTION

According to the method specified at the outset, this object is achieved by the following sequence of steps:

- a) determining a first period of time between a first moment in time when the enabling signal is generated and a second moment in time when the first movable component enters the second trajectory;
- b) determining a second period of time between the first moment in time and a third moment in time when the second movable component leaves the first trajectory;
- c) comparing the first period of time with the second period of time and generating a difference signal therebetween; and
- d) controlling motion of the first movable component as a function of the comparison of the first period of time with the second period of time such that the difference signal is smaller than a predetermined minimum tolerance value.

The object is, further, achieved by a plastic material injection molding machine as specified at the outset and comprising:

- a) means for determining a first period of time between a first moment in time when the enabling signal is generated and a second moment in time when the first movable component enters the second trajectory;
- b) means for determining a second period of time between the first moment in time and a third moment in time when the second movable component leaves the first trajectory;
- c) means for comparing the first period of time with the second period of time and generating a difference signal therebetween; and
- d) means for controlling motion of the first movable component as a function of the comparison of the first period of time with the second period of time such that the difference signal is smaller than a predetermined minimum tolerance value.

The inventor of the present invention has realized that the problems specified at the outset may be perfectly characterized by an appropriate formula involving a time function. He has, further, realized that such a formula very well fits to the

fact that the optimization of the cycle time of an injection molding machine is also a problem in a time dimension. By formulating both conditions specified in connection with the object underlying the invention within the same physical dimension, the inventor has made it possible to provide an optimizing rule within one single common relationship. On that basis it is possible to achieve a simple and optimized control of the motional sequence of moved components within a plastic material injection molding machine.

There are various possibilities for controlling the machine, i.e. for influencing the various motional parameters, as will be shown hereinafter. However, it is a common concept that the control is based on a comparison of the two periods of time specified above, followed by an appropriate optimization.

The second period of time must always be smaller than the first period of time by a predetermined difference, referred to as a tolerance value. The tolerance value on the one hand side indicates how much reserve time is available between the movements of the two components even in the case of a malfunction. On the other hand side the tolerance value is indicative about how much additional delay time is comprised within the cycle time. The closer the tolerance value is to zero, the better is the method with respect to the optimization of the cycle time.

The comparison between these two periods of time may be effected, for example, by interrelating same in an appropriate control unit of the inventive plastic material injection molding machine, utilizing an appropriate software. As an alternative, the comparison may be effected by determining the difference between the two periods of time by means of appropriate sensors on a hardware basis and by only then evaluating the difference with respect to its value and its polarity. Moreover, any other conceivable means for determining and evaluating a difference in time may be used in the scope of the present invention. It depends on the structural characteristics of the particular plastic material injection molding machine which one of these possible alternatives is selected as being advantageous in a particular situation.

According to a first alternative, the two periods of time to be compared with each other are determined only once when the machine is switched on for operation. However, as a second alternative, the comparison may be repeated during the operation of the machine.

It should be mentioned at this instance that the term "period of time" shall be understood to comprise any quantity being adapted to be indicative for time. It is, therefore, not necessary to actually determine the period of time with the usual time units like seconds or fractions of seconds. Instead, time may also, for example, be represented by a dimension-less number of subsequent equal or unequal pulses.

It is an advantage of the method according to the invention that a collision between the components is avoided even if an operational failure occurs at the worst possible moment, while simultaneously the cycle time of the machine is set as short as possible while taking these conditions into account. Moreover, the method has the advantage that it may be installed without substantial structural modifications on an injection molding machine. Therefore, substantial advantages may be achieved while making only minor investments necessary.

A further advantage of the invention consists in that the trigger point for generating the enabling signal may be set quickly and exactly. The trigger point may further be set automatically.

The object underlying the invention is thus entirely solved by the inventive method and the inventive plastic material injection molding machine.

According to a preferred embodiment of the invention one of the movable components is a first mold portion executing an opening movement and a closing movement, respectively, relative to a second mold portion, and the other one of the movable components is a gripper being adapted to be moved into and out of, respectively, a gap between the mold portions.

This measure has the advantage that the inventive method may be applied to the two components being essential for the function of a plastic material injection molding machine. Therefore, all of the afore-mentioned advantages of the inventive method may be fully utilized. However, the method is generally also applicable for other movable components of a plastic material injection molding machine the trajectories of which spatially over-lap at least partially.

In a further embodiment of the invention at least one of the periods of time is measured by means of a sensor.

This measure has the advantage that within the one period of time also variations within the motional sequence of the corresponding component are taken into account, for example variations due to changes in temperature or aging processes.

According to another embodiment of the invention another one of the periods of time is stored as a parameter in a control unit of the plastic material injection molding machine.

This measure has the advantage that the amount of hardware used and, hence, the costs of an inventive plastic material injection molding machine are reduced. The measure mentioned before is possible due to the fact that not all parameters within the motional sequences of a plastic material injection molding machine change so essentially or quickly that a repeated, actual measurement by means of a sensor would be necessary.

In another modification of the above-mentioned measures at least one of the periods of time is indicative for a motion of the gripper.

This measure is based on the fact that the gripper of a plastic material injection molding machine is mostly lighter as compared to the movable mold portion or portions, respectively. As a consequence, the dynamic behavior of a gripper may be controlled easier, simpler and faster. However, the movements of a gripper are subject to faster and larger changes during the operation of the machine. It is, therefore, a further advantage of this measure to use that period of time that is subjected to stronger and more short term variations by picking up operational parameters.

In another embodiment of the invention the period of time is indicative for a motion of the mold portion.

Seen as a whole, the features mentioned before have the advantages that the costs for a plastic material injection molding machine and for the inventive method are minimized, while concurrently effecting an optimized control of the operational sequences. The features mentioned above are, further, of particular advantage in a situation where the gripper is not a structural component of the inventive plastic material injection molding machine but is a component within a separate handling system or robot instead that must be adapted to such a machine. In that situation the amount of structural changes is minimized because the control of the injection molding machine itself may basically remain as it is and needs only minor changes.

In another embodiment of the invention at least one of the periods of time is set depending on a change in acceleration,

a displacement and/or a delay time of at least one of the movable components.

This measure has the advantage that by setting one of these parameters the motional sequences of the moved components may be harmonized simply and efficiently. This measure is of particular advantage when the period of time and, hence, the motional sequence of the gripper within a plastic material injection molding machine is set via a modification of these quantities because the gripper yields a higher flexibility due to its lower weight as compared to the mold.

In another embodiment of the invention the enabling signal is generated when the second movable component has reached a predetermined trigger position, the trigger position being set as a function of the first and the second period of time.

This measure has the advantage to make a particularly simple control possible resulting in modifications within the motional sequences of the movable components by simply modifying the control software. For example, the trigger position for generating the enabling signal is iteratively shifted in the direction of an earlier triggering, depending on the comparison of the two periods of time, for setting the difference between the periods of time to a desired value. The earlier the enabling signal for the first movable component is generated within the motional sequence of the second movable component, the earlier the first movable component reaches the trajectory of the second movable component.

In a further embodiment of the invention, the second period of time is determined by way of a simulation simulating a failure of a drive associated with the second movable component occurring at the first moment in time.

This measure has the advantage that the second period of time is determined by measuring for the event of a malfunction, corresponding to the worst possible case. Accordingly, all individual machine tolerances are taken into account for determining the second period of time. A collision of the two movable components is thus definitely avoided under any conceivable circumstances. On the other hand side, the second period of time may thus be determined very simply for a worst case situation.

According to another embodiment of the invention, an error signal is generated on a failure of a drive associated with the second movable component, and motion of the first movable component is stopped or suppressed upon generation of the error signal.

This measure has the advantage that by doing so, the first period of time is extended for the relevant case of a failure within the drive of the second movable component or it is even avoided that the first movable component starts to move. The latter case, however, is only possible if the error signal is available so early that the movement of the first movable component may effectively be suppressed even in view of delays associated with signal transmission and switching. If the error signal is available only at a moment in time when the first movable component has already received its enabling signal, the movement thereof may be normally no more be suppressed due to the delay times associated with the transmission of the signals and switching operations. However, if in such a situation, the movement of the first movable component is delayed, the period of time is extended until it reaches the trajectory of the second movable component. By taking into account the corresponding gain in time, the cycle time of the plastic material injection molding machine may be reduced within an undisturbed operation and no collision may occur even in the case of a drive failure.

In a further embodiment of the invention, an error signal is generated as soon as a motional sequence of the second movable component is outside a pre-determined tolerance band and motion of the first movable component is stopped or suppressed upon generation of the error signal.

This measure has the same advantages as the measures explained above. It is of particular advantage in combination with the afore-mentioned measure because failures in the motional sequence of the second movable component may also be taken into account which do not result from a drive failure.

In still another embodiment of the invention, the tolerance band is determined empirically by executing the motional sequence several times under production conditions prior to productively operating the injection molding machine.

This measure has the advantage that the tolerance band may be adapted to changes in the actual motional sequences of the moved components. By doing so it is possible to make the widths of the tolerance band as small as possible so that malfunctions in the operational sequence of the second moved component may be detected much earlier.

According to a modification of the afore-mentioned measure, the tolerance band is measured under production conditions in predetermined time intervals and is adjusted accordingly.

This measure has the advantage that the tolerance band may also be adapted to changes of the motional sequences within the operation of the plastic material injection molding machine. By doing so, the widths of the tolerance band may still further be narrowed thus making it possible to even earlier detect malfunctions.

In another embodiment of the inventive method, the at least one period of time is determined repeatedly during the carrying out of the method.

This measure also has the advantage that changes of the motional sequences of the moved components, for example due to changes in temperature, are also taken into account at any time.

In another embodiment of the inventive method, the supply voltage for a drive associated with the second movable component is buffered such that a drive for the second movable component may be maintained even upon failure of the supply voltage until the second movable component has left the first trajectory.

This measure has the advantage that the second period of time may be shortened because the movement of the second movable component may be maintained over a certain period of time even in the event of a complete failure of the supply voltage. This period of time is normally of the order of 300 ms. The reduction of the second period of time enables to set the first period of time smaller, thereby also shortening the cycle time of the plastic material injection molding machine as a whole. The buffering of the supply voltage is advantageously effected by increasing the capacity and the so-called intermediate circuit, i.e. a rectifier circuit for smoothing an alternating line voltage.

The complete failure of the supply voltage for the drive of a movable component is one of the most frequent malfunctions in common plastic material injection molding machines. A reason for this malfunction may, for example, be electromagnetic interference in the vicinity of the injection molding machine.

In a further embodiment of the invention, the first movable component is braked down at maximum deceleration rate upon a malfunction within the motional sequence of the second movable component.

This measure is particularly important because movable components are normally slowed down or decelerated in a

controlled manner. This control would, therefore, have to be switched off or overruled in an emergency situation. The suggested measure has the advantage that the first period of time is thereby dynamically shortened in the case of an operational malfunction. By doing so, it is possible to make the first period of time shorter under undisturbed operational conditions, thereby shortening the cycle time of the machine. By dynamically increasing the first period of time in a malfunction situation, it is, concurrently, guaranteed that a collision between moved components is avoided.

According to a modification of this embodiment, the first movable component is braked with a first brake means under normal operational conditions and is braked down with a second brake means at an increased deceleration rate in case of a malfunction.

For braking down, one may directly influence the drive. According to a first alternate solution, it is, however, also possible to provide an external brake, for example a shoe-brake. According to another alternative, a bumper may be also be used which converts kinetic energy into deformation. Such bumpers are, for example, configured as coaxial impact shock absorbers (dash pots) as used in steering shafts of motor vehicles and which are, hence, available as low-cost standard components from the automotive industry.

This measure has the advantage that a higher maximum braking force may be applied, as would be necessary during undisturbed operation of the injection molding machine. The first period of time is dynamically increased by the increased braking force in the event of a malfunction, as outlined above. In another preferred modification of this measure, the deceleration control of the first movable component is switched off in order to avoid a counter action of that control against generation of a maximum brake force. By doing so, it is ensured that the first period of time is extended to a maximum possible extent in the case of a malfunction. The gain of safety reserve in time units that may so be obtained is preferably taken into account for reducing the cycle time under undisturbed operational conditions of the injection molding machine.

In another embodiment of the inventive method, the first movable component is first accelerated at a lower rate of acceleration upon receipt of the enabling signal, and is then accelerated at a maximum rate of acceleration upon passing a last possible collision-free stop point at least until entering into the second trajectory.

When doing so, the critical spatial range in which the first movable component may no more be stopped in good time for avoiding a collision, is shortened as much as possible. As long as the first movable component has not yet passed the last possible collision-free stop point, it may be stopped upon occurrence of a malfunction within the motional sequence of the second movable component before entering into the trajectory of the latter. Thereby, a collision is definitely avoided independently of the position of the second movable component.

Having passed the last possible collision-free stop point, the first movable component may no more be stopped prior to entering into the trajectory of the second movable component. Therefore, the worst conceivable case with a respect to the occurrence of a failure or malfunction within the second movable component drive is that moment in time when the first movable component passes the last possible collision-free stop point. If a malfunction occurs prior to that moment in time, the first movable component is stopped in good time as a reaction to an emergency stop signal generated in that situation. However, if the malfunction occurs at a later moment in time, the second movable component has

to a larger extent moved away from the trajectory of the first movable component. The afore-mentioned measure has the advantage that the period of time between the generation of the enabling signal and the passing of the last possible collision-free stop point is extended as much as possible whereas the period of time after having passed the last possible stop point is shortened as much as possible. The shortened critical period of time enables to also shorten the cycle time of the injection molding machine under undisturbed operational conditions. In a further embodiment of this feature, the period of time after the passing of the last possible collision-free stop point is used for controlling the motional sequences.

In a further embodiment of the invention, the trajectory of one of the movable components is directed essentially vertically, the one movable component entering the trajectory of the other movable component from above and the one movable component is secured from falling down by a stop means in case of a malfunction.

This measure has particular importance when the component being displaced in a vertical direction loses its fixation with respect to a stationary support because the supply voltage is entirely off. The suggested feature has, therefore, the advantage that even under these conditions a collision of the two movable components is definitely avoided.

Finally, a common control unit may be used that is provided for the first and the second movable component, the motional sequences of the movable components being compared within the control unit and a malfunction signal is generated in case of a malfunction.

This measure has the advantage that due to synchronizing the motional sequences as a consequence of the comparison an immediate trouble shooting is possible in case of a malfunction of failure, for example by triggering an emergency brake or an entire shut-down. The delay times for doing so are thus minimized.

It goes without saying that the features that have been explained hereabove and those that will be explained hereinafter may not only be used in the particular given combination but also in other combinations or alone without leaving the scope of the present invention.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

Embodiments of the invention are depicted in the drawing and will be discussed in more detail here and after:

FIG. 1 shows a schematic depiction of an inventive plastic material injection molding machine with a mold portion being at the beginning of its opening movement and a gripper being at the beginning of its entering movement;

FIG. 2 shows the plastic material injection molding machine of FIG. 1 with a mold portion being at the beginning of its closing movement and with a gripper being at the beginning of its exiting movement;

FIG. 3 shows a displacement vs. time diagram depicting the motional sequence of the mold portion of FIG. 1;

FIG. 4 shows a displacement vs. time diagram depicting the motional sequence of the gripper of FIG. 1;

FIG. 5 shows a flow-chart for explaining the inventive method during the entering movement of the gripper into the trajectory of the mold portion;

FIG. 6 shows a flow-chart for explaining the inventive method during the exiting movement of the gripper out of the trajectory of the mold portion; and

FIG. 7 shows the development of gripper velocity prior to and after the entering into the trajectory of the mold portion.

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

In FIG. 1 and FIG. 2, an embodiment of a plastic material injection molding machine according to the present invention is, as a whole, designated by reference numeral 10.

Plastic material injection molding machine 10 comprises a first movable component, consisting of a movable mold portion 12 and a stationary mold portion 14. This embodiment has been selected for the sake of simplicity of illustration and explanation and does not exclude other embodiments having a plurality of movable mold portions, as is, for example, the case in so-called stack molds.

Reference numeral 16 designates a second movable component, i.e. a gripper. Gripper 16, as shown in FIG. 2, may enter into an area between mold portions 12 and 14 for unloading a work piece 18 from a cavity 20 within mold portion 14.

Reference numeral 22 in FIG. 2 designates a trajectory of movable mold portion 12, being delimited by lines 24 and 26. Trajectory 22 of mold portion 12 is partially overlapped by a trajectory 28 of gripper 16, delimited in FIG. 2 by lines 30 and 32. The term "trajectory" is to be understood to designate the entire spatial volume through which a movable component is advanced during a motional sequence and where, hence, collisions might occur with other movable or stationary components.

Reference numeral 34 designates a control unit. Signals of a sensor 36 and of another sensor 38 may be fed to control unit 34. Sensor 38 constitutes a possible option and is not mandatory, as indicated by dash lines. Sensor 36 is located at a position SR_1 corresponding to the position of gripper 16 when entering or leaving, respectively, trajectory 22 of mold portion 12. Optional sensor 38 is located at a position SW_1 corresponding to the position where mold portion 12 enters or leaves, respectively, trajectory 28 of gripper 16. In the present case, sensor 36 is adapted to detect and read a scale or marking 40 applied to gripper 16. Control unit 34 is adapted to determine the actual position of gripper 16 and its velocity therefrom. Sensor 38 is likewise configured.

Starting from control unit 34, a control signal 42 is fed to a drive unit 43 of movable mold portion 12 and a control signal 44 is fed to a drive unit 45 of gripper 16. By means of drive units 43 and 45, mold portion 12 and gripper 16 are accelerated and decelerated, respectively. Accordingly, control signal 42 and 44 comprise enabling signals for enabling movement of the respective components and, further, comprise emergency stop signals.

Drive unit 43 and 45 require a supply voltage which, in the case of drive unit 43 is designated by U_{VW} and, in the case of drive unit 45 is designated by U_{VR} . In common plastic material injection molding machines, supply voltages U_{VW} and U_{VR} are normally direct voltages having been generated by rectifying an alternating line voltage U_N . This is normally effected within a so-called intermediate circuit.

In plastic material injection molding machine 10, the intermediate circuits comprise additional buffer means 46 and 48 of increased capacity. Buffer means 46 and 48 serve for buffering supply voltages U_{VW} and U_{VR} , respectively. As a consequence, in the event of a complete failure of the supply voltage, the movement of the respective components may be maintained for a certain period of time within which the components continue to move ahead. In the particular plastic material injection molding machine shown, this period of time is of the order of 300 ms.

Starting from control unit 34, another control signal 50 is fed to an additional brake means 51 and, further, still another

control signal 52 is fed to an additional brake means 53. Additional brake means 51 acts on mold portion 12 and is intended to brake same down at maximum rate of deceleration upon occurrence of a malfunction in the motional sequence of gripper 16. Vice versa, additional brake means 53 acts on gripper 16 and brakes same down at maximum deceleration rate in case of a malfunction within the motional sequence of a movable mold portion 12. Additional brake means 51 and 53 are used within plastic material injection molding machine 10 in addition to the normal braking action of the respective driving units 43 and 45 for achieving the maximum possible deceleration. Additional control signal 52 and additional brake means 53 are only shown in FIG. 1 for the sake of simplicity.

For explaining the motional sequences hereinafter, two coordinate axes SR and SW are shown, the positions of which corresponding to those within the displacement vs. time diagrams of FIGS. 3 and 4.

In the situation as shown in FIG. 1, gripper 16 starts its movement along an arrow 55. An enabling signal 44, required for doing so, is generated at that moment in time when mold portion 12 has passed trigger position S_{FR} in the direction of an arrow 56. FIG. 2 shows the inverse case where mold portion 12 starts its movement in the direction of an arrow 57 as soon as it receives an enabling signal 42. Enabling signal 42 is generated as soon as gripper 16 has passed trigger position S_{FW} in the direction of an arrow 58.

An arrow 59 indicates that trigger position S_{FW} may be varied within control unit 34 on a software level, making it possible to modify the trigger point for the generation of enabling signal 42.

The motional sequence of mold portion 12 is entirely stored as a parameter within control unit 34. The control of the motional sequence of gripper 16 is effected as a function of the parameter data by modifying the acceleration of trigger point S_{FW} and/or the delay time of gripper 16.

Additionally, control unit 34 receives error signals F_W and F_R from monitoring circuits (not shown). Error signals F_W and F_R are generated when a failure or malfunction is detected within the motional sequence of the respective component 12 and/or 16. One possible source for the generation of error signals are voltage monitoring circuits, monitoring supply voltages U_{VW} and U_{VR} .

In FIG. 3, a displacement vs. time diagram for the motional sequence of movable mold portion 12 is designated in its entirety by reference numeral 60. Starting from position SW_0 , graph 62 first rises monotonously up to position SW_2 . This first portion of curve 62 describes the opening movement of mold portion 12. From then on, curve 62 extends constantly and horizontally from position SW_2 on until it again falls down monotonously back to position SW_0 . This falling down portion of curve 62 describes the closing movement of mold portion 12.

Reference numeral 64 designates a tolerance band within which curve 62 runs during an undisturbed operation of mold 12. If tolerance band 64 is trespassed, this means that there is a malfunction or failure within the motional sequence of mold portion 12. Such a case is indicated by curve 66.

Curve 68 corresponds to a motional sequence within which movable mold portion 12 receives an emergency stop signal due to a malfunction within the drive of gripper 16 and is braked down accordingly.

In FIG. 4, a displacement vs. time diagram for describing the motional sequence of gripper 16 is designated in its entirety by reference numeral 70. Curve 72 from a position

SR_0 on first rises monotonously up to a position SR_2 . This first portion of curve 72 describes the entering movement of gripper 16 between mold portions 12 and 14. From that position on curve 62 extends constantly and horizontally from position SR_2 on and then falls down monotonously again back to position SR_0 . The falling down portion of curve 72 describes the exiting movement of gripper 16 from the area between mold portions 14. Reference numeral 74 designates a tolerance band within which curve 72 runs during undisturbed operation of gripper 16. Trespassing tolerance band 74, as indicated by curve 76, again indicates a malfunction within the motional sequence. Curve 78, again, shows the case where gripper 16 was braked down or stopped due to an emergency stop signal.

Let us now consider an undisturbed motional sequence of mold portion 12 and gripper 16 making reference to displacement vs. time diagrams 60 and 70.

The motional sequence starts at F_0 when mold portion 12 starts its movement in the direction of arrow 56. At the moment in time when mold portion 12 has reached position S_{FR} , enabling signal 44 for gripper 16 is generated. For doing so, control unit 44 takes into account various other values and parameters, for example the presence of error signal F_W and, in some cases, the velocity of mold portion 12 at F_R . Reaching position S_{FR} is detected either by means of sensor 38 or is derived from the stored motional sequence of mold portion 12. Due to the generation of enabling signal 44, gripper 16 starts its movement in the direction of arrow 55, however, a delay time Δt_R due to propagation times of signals and switching times has been taken into account.

At t_2 mold portion 12 reaches position SW_1 when it leaves the trajectory 28 of gripper 16. At that moment in time gripper 16 is still before position SR_1 .

Gripper 16 passes position SR_1 at t_3 and, hence, enters into trajectory 22 of mold portion 12. t_3 is after t_2 . Accordingly, there is no collision between mold portion 12 and gripper 16.

During further movement mold portion 12 moves into its end position SW_2 and gripper 16 moves into its gripper position SR_2 .

At that position gripper 16 picks up a finished workpiece 16 and starts its exiting movement.

At t_{FW} gripper 16 passes trigger position S_{FW} which is detected by means of sensor 26. Accordingly, control unit 34 generates enabling signal 42 for mold portion 12, while taking into account further parameters and values, for example the presence of an error signal F_R in the velocity of gripper 16 at that position. Mold portion 12 starts moving accordingly, however, only after a certain internal delay time Δt_W of the system has lapsed which, again, is caused due to propagation times of signals and switching delays. Mold portion 12 starts moving at t_4 . At t_5 gripper 16 passes position SR_1 and leaves trajectory 22 of mold portion 12. Mold portion 12, in turn, passes position SW_1 at t_6 and, hence, enters into trajectory 28 of gripper 16. As t_6 is after t_5 , a collision does neither happen in this situation.

However, the motional sequences of the two components are critical when a malfunction or failure occurs. A worst case situation is to be assumed when the respective enabling signal is generated at essential the same moment in time when the drive unit for the respective other component fails that should get out of the way. For, in that case the enabling signal is generated on the one hand side and, on the other hand side, the component with the disturbed drive unit has to make a maximum travel distance. Such a case for the entering movement of gripper 16 into the area between mold

13

portions 12 and 14 is shown with curve 66 branching off curve 62 at t_{FR} with a smaller inclination. The smaller inclination of curve 66 corresponds to a lower velocity of mold portion 12 which, upon failure of its associated drive, only continuous movement due to inertial forces.

If the drive failure has not yet been detected due to an error signal F_w , such failure may be detected by control unit 34 with the help of sensor 38 at t_7 when curve 66 trespasses tolerance band 64. At that moment in time, however, gripper 16 has already started moving due to the generation of enabling signal 44. At t_8 mold portion 12 reaches position SW_1 due to inertial forces where it leaves trajectory 28 of gripper 16.

According to the present invention the control of gripper 16 is made such that t_8 is earlier than t_3 by a tolerance value Δt_1 . t_3 is the moment in time where gripper 16 enters into trajectory 22 of mold portion 12. By doing so a collision between mold portion 12 and gripper 16 is definitely avoided even in such an unfortunate situation where the drive for mold portion 12 fails.

A comparable situation is shown in curves 62 and 72 during the exiting movement of gripper 16. Curve 76 indicates a malfunction within the drive of gripper 16 at t_{FW} . Curve 76 has a smaller inclination which, again, is due to its lower velocity. At t_9 curve 76 trespasses tolerance band 74 which may be detected by control unit 34 with the help of detector 36. As gripper 16 even in this situation passes position SR_1 at t_{10} due to inertial forces, a collision is avoided provided that t_{10} is earlier than t_6 by a tolerance value Δt_2 . t_6 is the moment in time when mold portion 12 passes position SW_1 and, hence, enters into trajectory 28 of gripper 16.

As shown by means of curves 68 and 78, tolerance values Δt_1 and Δt_2 are increased in a situation where the respective controlled component is braked down and, hence, decelerated after the detection of a malfunction. In the case of curve 78 it is even assumed that gripper 16 is strongly decelerated such that it does no more reach position SR_1 and, hence, does no more enter into trajectory 22 of mold portion 12. The gain in time due to an emergency stop and the associated deceleration may be used for the control of the components for reducing tolerance value Δt_1 and Δt_2 , which, again improves the cycle time of the machine under normal operational conditions.

For carrying out the inventive method, at least one of the following periods of time are determined:

$$T_{WE\max} = t_8 - t_{FR}$$

or

$$T_{RE} = t_3 - t_{FR}$$

or, respectively,

$$T_{RA\max} = t_{10} - t_{FW}$$

or

$$T_{WA} = t_6 - t_{FW}$$

The respective other non-determined period of time is preferably stored as a parameter in a memory of control unit 34. It is particularly preferred to use periods of time being indicative for the motional sequence of mold portion 12. By comparing periods of time T_{RE} and $T_{WE\max}$ or $T_{RA\max}$ and T_{WA} , respectively, the optimum setting of motional sequences may be checked.

14

It is preferred to use a common control unit 34 for both movable components 12 and 16. The motional sequences of both components 12 and 16 are directly compared within control unit 34 and, in the event of a malfunction, a malfunction signal is generated. Then, mold portion 12 and gripper 16 are controlled synchronously, and, as soon as an error occurs, it may be transferred immediately, i.e. with minimum delays, into a malfunction signal. By doing so, curves 66 and 78 are directly compared with each other and curve 78 is controlled to directly follow curve 66. The difference in time between t_7 and t_{11} is thus minimized.

It should be mentioned at this instance that in the event of an emergency brake operation, for example with respect to gripper 16, an external brake, for example a friction brake, may also be used for braking down at maximum rate of deceleration. As an alternative, a bumper, i.e. an impact shock absorber may also be used for transforming the inertial energy of the gripper into deformation energy in case of a collision in order to avoid damages in such situation. The impact shock absorber may be a standard component, e.g. a dash pot, which is, for example, used as a safety device within steering shafts of motor vehicles.

The flow chart of FIG. 5 shows the inventive method with respect to the entering movement of a gripper 16 into the area between mold portions 12 and 14. Following start step 100 the period of time $T_{WE\max}$ is determined in step 102. For that purpose during the setting up of the machine mold portion 12 is at least once displaced along arrow 56. At the moment in time when mold portion 12 passes position S_{FR} , the associated drive is switched off. This may be made by simply actuating an emergency switch. Concurrently, the amount of time is determined until mold portion 12 reaches position SW_1 . In step 104 period of time $T_{WE\max}$ is compared with period of time T_{RE} which, according to step 106, is stored within control unit 34 either as a parameter having resulted from theoretical considerations or as a measured value. In the event that period of time $T_{WE\max}$ is longer than period of time T_{RE} , measures have to be taken according to step 108 for increasing period of time T_{RE} . This may be done, for example, by displacing trigger position S_{FR} towards end position SW_2 or, as an alternative, by making delay time Δt_R or the travel path of gripper 16 longer.

As soon as period of time T_{RE} has become longer than period of time $T_{WE\max}$ due to these measures, steps 110 and 112 follow to set period of time T_{RE} such that the latter is only by a predetermined tolerance value Δt_1 longer than period of time $T_{WE\max}$. The smaller tolerance value Δt_1 is, the shorter is the cycle time of the plastic material injection molding machine.

According to step 114 the normal operation of the plastic material injection molding machine follows after this setting of the motional sequences. According to step 118 the afore-described setting of the motional sequences may optionally be repeated several times during the operation of the machine.

The flow chart of FIG. 6 describes the analogue procedure for a situation where gripper 16 exits from the area between mold portions 12 and 14.

After a start step 120 period of time $T_{RA\max}$ is determined within step 122 in a similar way as described above. Within steps 124 and 126 the afore-determined periods of time $T_{RA\max}$ and T_{WA} are compared. Period of time T_{WA} may again have been determined according to theoretical calculations or may have been measured. According to step 128 trigger position S_{FW} is now shifted towards terminal end position SR_0 if period of time $T_{RA\max}$ is longer than period of time T_{WA} . As in the preceding case, however, also other parameters of the motional sequence may be modified.

15

Within steps 130 and 132 the period of time T_{WA} is then set by shifting trigger position S_{FW} such that the latter is only longer by a tolerance value Δt_2 as compared to period of time T_{RAMax} . According to step 134 the normal operation of the plastic material injection molding machine follows which, again, may be optionally combined according to step 138 with a continuing monitoring of the settings during the operational of the machine.

As becomes apparent by way of the description above, the inventive method may likewise be used for controlling gripper 16 or movable mold portion 12. Within normal plastic material injection molding machines, however, gripper 16 has a lower mass as compared to movable mold portion 12. As a consequence, gripper 16 may be controlled faster and more flexible. Moreover, one often has the situation that gripper 16 is a component of a separate and autonomous handling or robotic system that has to be adapted to a predetermined motional sequence of a movable mold portion. Therefore, in such a situation the control may not or practically not influence the periods of time which are indicative for the motional sequence of mold portion 12. Considering, however, that the relationship

$$T_{RE} > T_{WEmax}$$

must always be fulfilled for avoiding collisions, the optimization of the cycle time may only be effected by an appropriate control of gripper 16.

FIG. 7, accordingly, shows a velocity diagram of gripper 16 during its entering movement between mold portions 12 and 14. For orientation purposes straight line 152 indicates position SR_1 where gripper 16 enters into the area between mold portions 12 and 14. Reference numeral 154 indicates an auxiliary straight line having a negative slope being a measure for the maximum possible deceleration of gripper 16. The velocity curve of gripper 16 prior to entering into trajectory 22 of mold portion 12 is designated by 156. Curve 156 intersects straight line 154 at point 158 corresponding to position SL on the abscissa. This position is the last possible collision-free stop position for gripper 16 being independent of the position and movement of mold portion 12. When position SL is passed, a collision between gripper 16 and mold portion 12 may only be avoided by coordinating their respective motional sequences.

The worst case during the entering movement of gripper 16 between mold portions 12 and 14 is the situation when the drive unit for the opening mold portion 12 fails at the moment in time when gripper 16 has passed the last possible collision-free trigger position SL. In the event of an earlier failure of the drive of mold portion 12, gripper 16 may be stopped prior to entering the trajectory of mold portion 12, as set forth above. However, in the event of a later failure of the drive of mold portion 12, i.e. after position SL, mold portion 12 due to its inertial forces is already further off the trajectory of gripper 16, as compared with the above-specified worst case situation.

According to the illustrated preferred velocity curve for the control of gripper 16, the area between the last possible collision-free trigger position SL and position SR_1 is passed by gripper 16 with its maximum possible acceleration. As a result the dwell time of gripper 16 in this area is reduced. The further advancement of gripper 16 after having passed position SR_1 has no impact on the inventive method and, therefore, may be set differently. This depends in particular on the gripper position SR_2 at which gripper 16 must be brought to a standstill for unloading a finished workpiece 18 from mold portion 14. Various possible curves are indicated with reference numeral 160, 162, 164 and 166.

16

By minimizing the dwell time of gripper 16 in the area between the last possible stop position SL and position SR_1 the cycle time of the injection molding machine may be minimized within the scope of the present invention, without running the risk of collisions in the event of a failure. Furthermore, the continuing movement of the component that has to go out of the way contributes to the minimizing of the cycle time even in case of a malfunction. The same holds true for the deceleration of the respective entering component in case of a malfunction.

What is claimed is:

1. A method for controlling a motional sequence of a first movable component of a plastic material injection molding machine having a first trajectory spatially overlapping at least partially a second trajectory of a second movable component of said plastic material injection molding machine, wherein motion of said first movable component is initiated depending on an enabling signal indicative for a motional state of said second movable component, the method comprising the steps of:

- a) determining a first period of time (T_{WA} ; T_{RE}) between a first moment in time (t_{FW} ; t_{FR}) when said enabling signal is generated and a second moment in time (t_6 ; t_3) when said first movable component enters said second trajectory;
- b) determining a second period of time (T_{RAMax} ; T_{WEmax}) between said first moment in time (t_{FW} ; t_{FR}) and a third moment in time (t_{10} ; t_8) when said second movable component leaves said first trajectory;
- c) comparing said first period of time (T_{WA} ; T_{RE}) with said second period of time (T_{RAMax} ; T_{WEmax}) and generating a difference signal therebetween; and
- d) controlling motion of said first movable component as a function of said comparison of said first period of time (T_{WA} ; T_{RE}) with said second period of time (T_{RAMax} ; T_{WEmax}) such that said difference signal is smaller than a predetermined minimum tolerance value (T_2 ; T_1).

2. The method of claim 1, wherein one of said movable components is a first mold portion executing an opening movement and a closing movement, respectively, relative to a second mold portion, and the other one of said movable components is a gripper being adapted to be moved into and out of, respectively, a gap between said mold portions.

3. The method of claim 1, wherein at least one of said periods of time (T_{WA} , T_{RAMax} , T_{RE} , T_{WEmax}) is measured by means of a sensor.

4. The method of claim 3, wherein another one of said periods of time (T_{WA} , T_{WEmax}) is stored as a parameter in a control unit of said plastic material injection molding machine.

5. The method of claim 3, wherein at least one of said periods of time (T_{RAMax} ; T_{RE}) is indicative for a motion of said gripper.

6. The method of claim 4, wherein another one of said periods of time (T_{WA} ; T_{WEmax}) is indicative for a motion of said mold portion.

7. The method of claim 1, wherein at least one of said periods of time (T_{RAMax} ; T_{RE}) is set depending on a change in acceleration, a displacement and/or a delay time (t_R) of at least one of said movable components.

8. The method of claim 1, wherein said enabling signal is generated when said second movable component has reached a predetermined trigger position (S_{FW} ; S_{FR}), said trigger position (S_{FW} ; S_{FR}) being set as a function of said first (T_{WA} ; T_{RE}) and said second (T_{RAMax} ; T_{WEmax}) period of time.

17

9. The method of claim 1, wherein said second period of time (T_{RAmax} ; T_{WEmax}) is determined by way of a simulation simulating a failure of a drive associated with said second movable component occurring at said first moment in time (t_{FW} ; t_{FR}).

10. The method of claim 1, wherein an error signal (F_R ; F_W) is generated upon a failure of a drive associated with said second movable component, and motion of said first movable component is stopped or suppressed upon generation of said error signal (F_R ; F_W).

11. The method of claim 1, wherein an error signal (F_R ; F_W) is generated as soon as a motional sequence of said second movable component is outside a predetermined tolerance band and motion of said first movable component is stopped or suppressed upon generation of said error signal (F_R ; F_W).

12. The method of claim 11, wherein said tolerance band is determined empirically by executing said motional sequence several times under production conditions prior to productively operating said injection molding machine.

13. The method of claim 12, wherein said tolerance band is measured under production conditions in predetermined time intervals and is adjusted accordingly.

14. The method of claim 1, wherein said at least one period of time (T_{WA} ; T_{RAmax} ; T_{RE} ; T_{WEmax}) is determined repeatedly during the carrying out of the method.

15. The method of claim 1, wherein a supply voltage for a drive associated with said second movable component is buffered such that a drive for said second movable component may be maintained even upon failure of said supply voltage until said second movable component has left said first trajectory.

16. The method of claim 1, wherein said said first movable component is braked down at maximum deceleration rate upon a malfunction within said motional sequence of said second movable component.

17. The method of claim 1, wherein said first movable component is braked with a first brake means under normal operational conditions and is braked down with a second brake means at an increased deceleration rate in case of a malfunction.

18. The method of claim 1, wherein said first movable component is first accelerated at a lower rate of acceleration upon receipt of said enabling signal, and is then accelerated at a maximum rate of acceleration upon passing a last possible collision-free stop point (SL) at least until entering into said second trajectory.

18

19. The method of claim 1, wherein the trajectory of one of said movable components is directed essentially vertically, said one movable component entering the trajectory of the other movable component from above, said one movable component being secured from falling down by a stop means in case of a malfunction.

20. The method of claim 1, wherein a common control unit is provided for said first and said second movable component, said motional sequences of said movable components being compared within said control unit and a malfunction signal being generated in case of a malfunction.

21. A plastic material injection molding machine comprising a first and a second movable component, said components having a first and a second trajectory, respectively, overlapping each other at least partially, a control unit for generating an enabling signal for the motion of said first movable component depending on the motional state of said second component, said machine having:

- a) means for determining a first period of time (T_{WA} ; T_{RE}) between a first moment in time (t_{FW} ; t_{FR}) when said enabling signal is generated and a second moment in time (t_6 ; t_3) when said first movable component enters said second trajectory;
- b) means for determining a second period of time (T_{RAmax} ; T_{WEmax}) between said first moment in time (t_{FW} ; t_{FR}) and a third moment in time (t_{10} ; t_8) when said second movable component leaves said first trajectory;
- c) means for comparing said first period of time (T_{WA} ; T_{RE}) with said second period of time (T_{RAmax} ; T_{WEmax}) and generating a difference signal therebetween; and
- d) means for controlling motion of said first movable component as a function of said comparison of said first period of time (T_{WA} ; T_{RE}) with said second period of time (T_{RAmax} ; T_{WEmax}) such that said difference signal is smaller than a predetermined minimum tolerance value (T_2 ; T_1).

22. The machine of claim 21, wherein at least one external brake means is provided for braking down at least one of said movable components in case of a malfunction.

23. The machine of claim 22, wherein said brake means is configured as a friction brake.

24. The machine of claim 22, wherein said brake means is configured as a bumper.

* * * * *